

В. В. Черкашина

**СТРУКТУРУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ
ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ
В УМОВАХ НЕПОВНОТИ
ІНФОРМАЦІЇ**

Монографія

Харків
«Факт»
2016

УДК 621.315
ББК 31.279
Ч 27

*Затверджено до друку Вченою радою Національного технічного університету
«Харківський політехнічний інститут»
(протокол № 9 від 25 листопада 2016 р.)*

Рецензенти:

Лежнюк Петро Дем'янович — доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри електричних станцій та систем, Вінницький національний технічний університет (м. Вінниця);

Тугай Юрій Іванович — доктор технічних наук, старший науковий співробітник, завідувач відділу оптимізації систем електропостачання, Інститут електродинаміки НАН України (м. Київ)

Черкашина В.В.

Ч 27 Структурування повітряних ліній електропередачі в умовах неповноти інформації / В.В. Черкашина. — Харків, Факт, 2016. — 160 с.

ISBN 978-966-637-

В монографії з позиції системного підходу на базі математичного моделювання розглянуті питання вдосконалення структури повітряних ліній змінного струму за рахунок оптимізації параметричного ряду перерізів проводів в умовах неповноти інформації та показано уніфікацію як напрямок розвитку ліній електропередачі, що дозволяє покращити їх техніко-економічні показники.

Для студентів, аспірантів та фахівців електроенергетичних спеціальностей і спеціалістів проектних відділів та організацій.

**УДК 621.315
ББК 31.279**

Наукове видання

Черкашина

**СТРУКТУРУВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ
В УМОВАХ НЕПОВНОТИ ІНФОРМАЦІЇ**

Редактор О. В. Ковалевський
Комп'ютерна верстка О. А. Ільїної

Формат 60×84 1/16. Ум. друк. арк. 10,7. Наклад 0. Зам.

Видавництво «Факт»
Україна, 61166, м. Харків, вул. Бакуліна, 11, оф. 4-28.
Тел./факс: (057)756-43-75. E-mail: publish_fakt@mail.ru
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3172 від 22.04.2008.

Виготовлено у ФОП В. Є. Гудзинський
Україна, 61072, м. Харків, вул. 23-го Серпня, 27. Тел./факс: (057)340-52-26.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ХК № 269 від 23.11.2010.

ISBN 978-966-637-

© В.В. Черкашина, 2016
© Видавництво «Факт», 2016

Содержание

Вступ	5
1. НЕОБХІДНІСТЬ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ	7
1.1. Умови функціонування повітряних ліній змінного струму	7
1.1.1. Модель балансууючого ринку електричної енергії	7
1.1.2. Модель транспортування та розподілу електричної енергії	12
1.1.3. Оцінка ефективності транспортування та розподілу електричної енергії повітряними лініями змінного струму	15
1.2. Конструктивні елементи, які впливають на структуру повітряних ліній	18
1.3. Існуючі техніко-економічні моделі повітряних ліній	20
1.3.1. Застосування математичного моделювання для аналізу техніко-економічних моделей повітряних ліній	21
1.3.2. Оцінка існуючих техніко-економічних моделей повітряних ліній	24
1.4. Існуючі методи аналізу техніко-економічних моделей повітряних ліній в умовах неповноти інформації	29
1.4.1. Аналіз методів аналізу техніко-економічних моделей повітряних ліній	29
1.4.2. Застосування критеріального методу для аналізу техніко-економічних моделей повітряних ліній	31
1.5. Оптимальний параметричний ряд перерізів проводів повітряних ліній, як основа вдосконалення структури ліній	36
1.6. Оцінка доцільності вдосконалення структури повітряних ліній	41
2. НОВІ ПІДХОДИ ФОРМУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ	48
2.1. Формування критеріїв для аналізу техніко-економічних показників повітряних ліній в умовах неповноти вихідної інформації	48
2.2. Розроблення та аналіз техніко-економічних моделей повітряних ліній в умовах неповноти інформації	52
2.2.1. Техніко-економічні моделі повітряних ліній системоутворюючих мереж	54
2.2.2. Техніко-економічні моделі повітряних ліній розподільних мереж	61
2.3. Розрахунок коефіцієнту формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів повітряних ліній в умовах неповноти інформації	68

2.4. Формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів для повітряних ліній належних відповідним електричним мережам	74
2.4.1. Параметричний ряд перерізів проводів повітряних ліній системоутворюючих електричних мереж	75
2.4.2. Параметричний ряд перерізів проводів повітряних ліній розподільних електричних мереж	78
3. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ	80
3.1. Системний аналіз техніко-економічних моделей повітряних ліній	80
3.2. Формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів повітряних ліній з позиції системного підходу	84
3.3. Взаємозв'язок оптимального параметричного ряду проводів з шкалою напруги при вдосконаленні повітряних ліній	89
3.4. Обґрунтування вдосконалення структури повітряних ліній з позиції системного підходу	93
4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НА БАЗІ УНІФІКАЦІЇ	98
4.1. Ефективність вдосконалення структури повітряних ліній на стадіях будівництва та експлуатації електричних мереж	98
4.1.1. Доцільність інвестування при використанні оптимального параметричного ряду перерізів проводів повітряних ліній	98
4.1.2. Аналіз регламенту реконструкцій повітряних ліній при використанні оптимального параметричного ряду перерізів проводів	103
4.1.3. Вплив вдосконалення структури повітряних ліній на параметри режиму роботи електроенергетичної системи	110
4.2. Ефективність оптимізації структури повітряних ліній на стадії виробництва проводів в ринкових умовах	113
4.3. Взаємозв'язок техніко-економічних показників при вдосконаленні структури повітряних ліній	117
<i>Додаток А. Статистичні дані параметрів нормального режиму роботи Південно-Західної енергосистеми</i>	<i>120</i>
<i>Додаток Б. Блок-схема і розрахунок значень коефіцієнтів апроксимованих виразів в техніко-економічних моделях повітряних ліній системоутворюючих та розподільних мереж</i>	<i>135</i>
<i>Додаток В. Розрахунок параметрів нормального режиму роботи повітряних ліній 750 кВ системоутворюючих мереж Південно-Західної енергосистеми</i>	<i>142</i>
Список використаних джерел	157

ВСТУП

Підвищення енергоефективності та реалізація потенціалу енергозбереження пов'язані з рішенням ряду широкомасштабних завдань, у тому числі завдань, які стосуються вдосконалення структури об'єктів електроенергетичних систем. Враховуючи обмеженості інвестиційних ресурсів, модернізацію та структурні перебудови в галузі реалізація даного завдання повинна ґрунтуватися на чітких наукових рішеннях.

В даний час в Україні експлуатується понад 948 тисяч кілометрів повітряних ліній різних класів напруги, термін експлуатації більшості з яких становить 40–60 років, а деяких досягає 80 років. Досить довгий термін експлуатації ліній не відповідає сучасним умовам функціонування електроенергетики, призводить до аварійних ситуацій в електричних мережах й потребує вдосконалення структури повітряних ліній. Однією із основних причин відключення ліній являється пошкодження проводів, що відображається на надійності транспортування і розподілу потужності та електроенергії від генеруючих джерел до споживачів. В зв'язку з цим вдосконалення структури повітряних ліній за рахунок оптимізації параметричного ряду перерізів проводів є актуальним завданням й належить до пріоритетного напрямку розвитку науки і техніки в Україні (енергетика та енергоефективність), тобто відповідає Закону України «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», Закону України «Про енергозбереження» та Закону України «Про електроенергетику».

Перші роботи з оптимізації структури повітряних ліній, а саме уніфікації ліній за рахунок оптимізації параметричного ряду перерізів проводів були проведені ще в 80-х роках минулого століття такими вченими як В.А. Веніков, Ю.М. Астахов, М.М. Черемісін, І.А. Будзко. В своїх роботах вони розглядали питання оптимізації параметричного ряду перерізів проводів і надали пропозиції щодо уніфікації ліній 35–750 кВ. Відповідно до теорії подібності для пошуку оптимального параметричного ряду перерізів проводів ліній вченими був використаний критеріальний метод, який дозволив

уникнути неповноти інформації. Для цього техніко-економічна модель повітряних ліній була записана в критеріальній формі й проаналізована вченими критеріальним методом, що дозволило сформулювати доцільний параметр оптимізації відповідно до умов функціонування електроенергетики в той період. Надані ними рекомендації можуть бути базисом для проведення уніфікації повітряних ліній, але в зв'язку зі зміною умов функціонування електроенергетики необхідно переглянути їх відповідно до сучасних вимог.

У першому розділі розглянуті сучасні умови функціонування повітряних ліній; конструктивні елементи, що впливають на структуру ліній; існуючі техніко-економічні моделі повітряних ліній та методи їх аналізу; проведена оцінка доцільності вдосконалення повітряних ліній за рахунок оптимізації параметричного ряду перерізів проводів.

У другому розділі розроблені та проаналізовані критеріальним методом техніко-економічні моделі повітряних ліній в умовах неповноти інформації; проведений розрахунок коефіцієнту формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів повітряних ліній; обґрунтовано застосування сформованого параметричного ряду перерізів проводів повітряних ліній належних відповідним електричним мережам.

У третьому розділі з позицій системного підходу: проаналізовані розроблені техніко-економічні моделі повітряних ліній; сформований оптимальний параметричний ряд перерізів проводів ліній та показано його взаємозв'язок зі шкалою напруги; обґрунтовано вдосконалення структури повітряних ліній.

У четвертому розділі проаналізована економічна ефективність запропонованого підходу до структурування повітряних ліній на стадіях будівництва та експлуатації електричних мереж, а також при виробництві проводів в ринкових умовах; показаний взаємозв'язок техніко-економічних показників вдосконалення структури повітряних ліній на базі уніфікації.

1. НЕОБХІДНІСТЬ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

1.1. Умови функціонування повітряних ліній змінного струму

1.1.1. Модель балансуєчого ринку електричної енергії

Для підвищення конкурентоздатності електроенергетичної галузі України, забезпечення потреб споживачів в електричній енергії за мінімально можливою ціною на засадах конкуренції між виробниками та постачальниками електричної енергії, а також прибутковості галузі та інтересу до неї з боку інвесторів в Україні функціонує балансуєчий ринок електроенергії.

Балансуєчий ринок електроенергії — система взаємопов'язаних між собою елементів відносинами купівлі/продажу електричної енергії, а саме виробників, постачальників, енергопостачальників і енергорозподільних компаній, споживачів електричної енергії [1].

Відносини, що виникають між елементами балансуєчого ринку електроенергії визначаються його сегментами:

- роздрібний ринок електроенергії;
- ринок на добу вперед;
- ринок допоміжних послуг;
- ринок пропускної здатності.

Відносини між енергопостачальниками, енергорозподільними компаніями і енергоспоживачами визначаються енергоринком.

На енергоринку споживачі купують електричну енергію у енергопостачальників (незалежних або гарантованих). Кваліфіковані споживачі за своїм вибором можуть купувати електричну енергію у будь-якого з незалежних енергопостачальників або гарантованих енергопостачальників, на території здійснення ліцензованої діяльності яких вони знаходяться. Споживачі, які не є кваліфікованими, купують електричну енергію у гарантованих енергопостачальників, які знаходяться на території здійснення ліцензованої діяльності.

Незалежні енергопостачальники здійснюють продаж електричної енергії на роздрібному ринку за договірними цінами на умовах, які визначаються договорами укладеними з кваліфікованими споживачами.

Гарантовані енергопостачальники діють на роздрібному ринку з метою забезпечення прав споживачів та не можуть відмовити у постачанні електричної енергії будь-якому споживачеві, який знаходиться на території здійснення його ліцензованої діяльності. Гарантовані постачальники здійснюють постачання електричної енергії споживачам на умовах і за цінами (тарифами), які корегуються органом державного регулювання діяльності в електроенергетиці [1] (рис. 1.1).

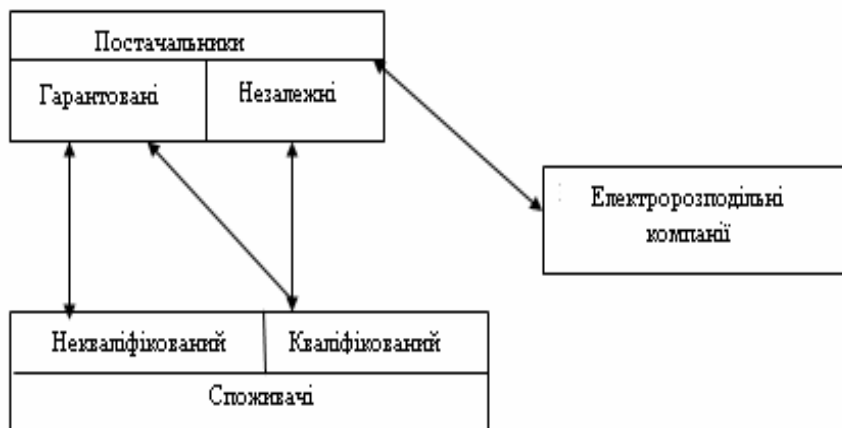


Рис. 1.1. Структурна модель роздрібного ринку електричної енергії

Для більшого запобігання небалансів діє ринок на добу вперед. Протягом дня надходять заявки та пропозиції і після чого між учасниками ринку укладаються договори на певні часові інтервали або на повну добу.

На цьому ринку відбуваються торги — процес визначення обсягів і цін на електроенергію на розрахункові періоди наступних за днем проведення торгів доби, організовані згідно з правилами ринку на добу вперед [2].

Цінові заявки і пропозиції подаються системному оператору в разі збільшення (зменшення) навантаження (споживання) електроенергії [1].

Оператор ринку складає прогноз попиту на наступну добу на основі отриманих даних про договірні позиції. Виходячи з цього прогнозу, оператор ринку визначає очікуваний небаланс на кожний період наступної доби між заявленими позиціями, які відображають прогноз виробництва і прогноз попиту. Схема функціонування ринку на добу вперед представлена на рис. 1.2.

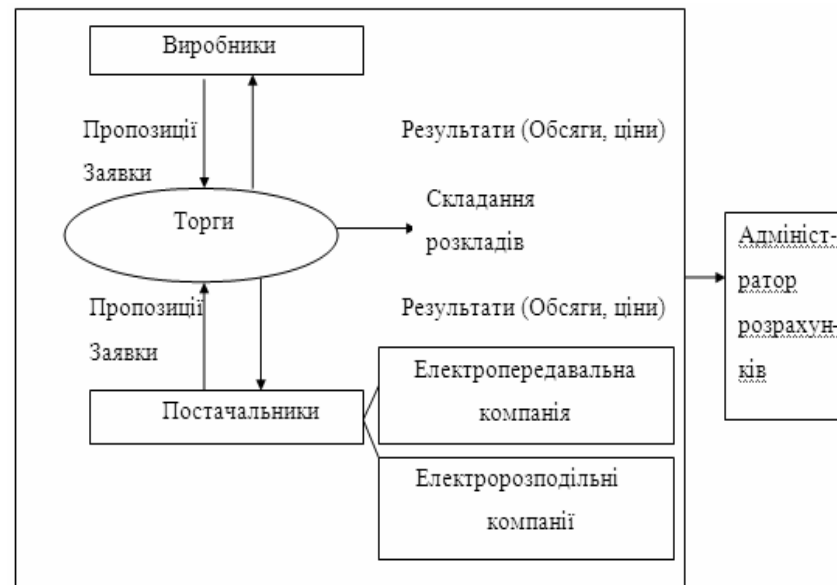


Рис. 1.2. Структурна модель ринку на добу вперед

Для забезпечення якості регулювання в реальному часі функціонує ринок додаткових послуг.

Наявність даної складової обумовлена тим, що потрібні резерви потужності для підтримки частоти, регулювання її на належному рівні. Резерви потужності можуть також знадобитися в разі повністю знеструмленого стану електричної мережі (ЕМ). Резерви можуть також бути потрібні для хвилинної підтримки балансу си-

стеми в результаті виходу з ладу великих генеруючих об'єктів і ліній електропередачі (ЛЕП) [1, 2].

При введенні об'єкта в експлуатацію потрібен час. В цей же час можна зарезервувати обсяги потужностей для внутрішнього споживання і на експорт. Важливим нюансом є те, що потужності, зарезервовані для надання додаткових послуг повинні бути недоступні на звичайному ринку.

Учасниками ринку додаткових послуг є: виробники, адміністратор розрахунку, системний оператор (СО) (рис. 1.3).

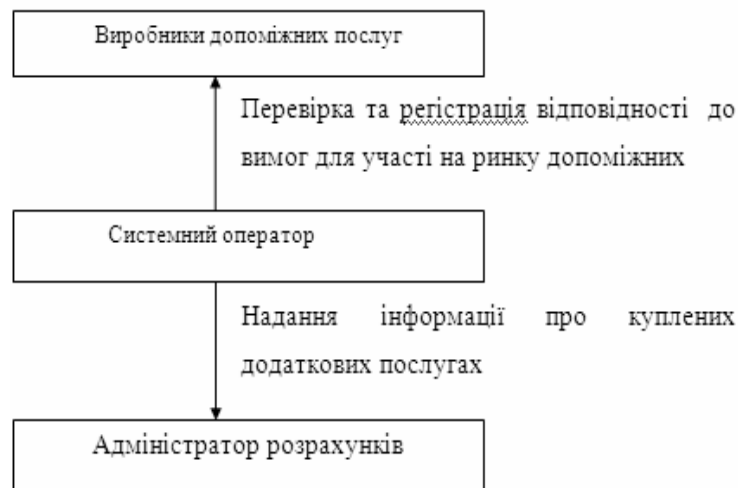


Рис. 1.3. Структурна модель ринку допоміжних послуг

Для здійснення експорту/імпорту електроенергії діє ринок доступу до пропускної здатності міждержавних ЕМ.

Пропускна здатність міждержавних ЕМ представляє величину потужності перетоку електроенергії, яка протягом певного періоду може бути передана на експорт через міждержавний перетин за умови гарантованого забезпечення безпеки та надійності функціонування електроенергетичних систем (ЕЕС) України.

В період функціонування балансуєного ринку електроенергії енергопостачальники та виробники електричної енергії укладають договір з СО про участь у балансуванні [2].

На балансуєному (від слова «баланс» — «рівновага») ринку СО з метою балансування обсягів виробництва і споживання здійснює купівлю/продаж електроенергії за результатами відбору пропозицій (заявок) про продаж (купівлі) електроенергії учасників балансування, поданих на балансуєний ринок. Також СО здійснює купівлю/продаж небалансів, які виникають в учасників ринку внаслідок відхилення фактичних обсягів виробництва (споживання) електроенергії від обсягів купівлі/продажу електроенергії, затверджених СО в погодинному графіку виробництва/споживання електроенергії (рис. 1.4).

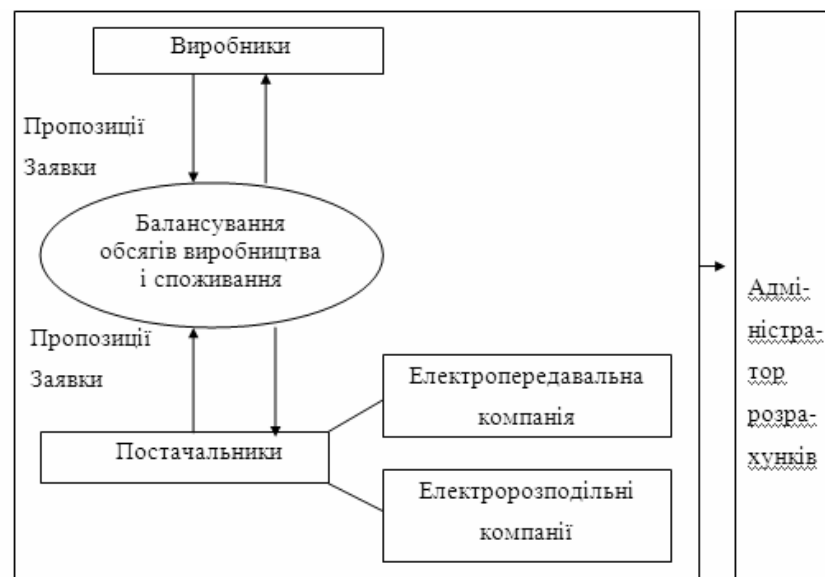


Рис. 1.4. Структурна модель балансуєного ринку електроенергії

Результатами проведення балансуєного ринку є:

- забезпечення балансу прогнозованого і фактичного попиту;
- передача інформації адміністратору розрахунку відповідних даних.
- адміністратор розраховує платежі за електроенергію з СО та іншим учасниками ринку.

1.1.2. Модель транспортування та розподілу електричної енергії

Основою електроенергетики держави є Об'єднана електроенергетична система (ОЕС), яка здійснює централізоване електрозабезпечення внутрішніх споживачів, а також взаємодіє з енергосистемами сусідніх держав, що забезпечує експорт та імпорт електричної енергії. До складу ОЕС входять ЕЕС, які пов'язані між собою ЛЕП для транспортування та розподілу електричної енергії.

Номинальна напруга ЛЕП залежить від потужності, що передається, кількості ланцюгів і відстані (дальності), на яку передається електроенергія (табл. 1.1).

Таблиця 1.1

Економічно доцільні параметри ЛЕП змінного струму

Напруга, кВ	Найбільша потужність, що передається, МВт	Найбільша відстань, на яку передається потужність, км
35	5–10	30–50
110	25–50	50–150
330	200–300	300–400
750	1800–2200	1000–1500

Представлені в табл. 1.1 ЛЕП утворюють мережі всіх класів напруги. Відомі різні класифікації ліній і мереж за класами напруги [3–5]. В даному випадку необхідно відзначити, що чим більша потужність, що передається і протяжність лінії, тим вище за технічними та економічними причинами має бути номінальна напруга електропередачі.

Технічно транспортування та розподіл електроенергії здійснюється через ЕМ. ЕМ забезпечує можливість видачі потужності електростанціями, її транспортування на відстань, перетворення параметрів електроенергії (напруги, струму) на підстанціях і розподіл по території до споживачів [3] (рис. 1.5).

ЕМ є сполучною ланкою між джерелами генерування електроенергії і споживачами. Вони поділяються на системоутворюючі та розподільні електричні мережі.

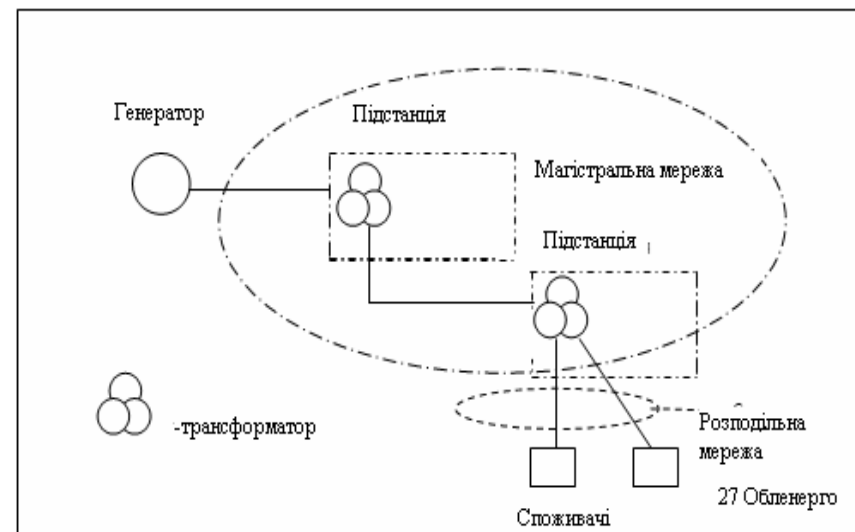


Рис. 1.5. Структурна модель транспортування та розподілу електричної енергії

Системоутворюючі електричні мережі — це електричні мережі призначені для транспортування електричної енергії від виробника до пунктів підключення розподільних мереж [6].

Такі мережі призначені для передачі великих потоків потужностей (від сотень МВт до кількох ГВт) віддаленим споживачам (відстань до 1000 км і більше) і виконуються в основному повітряними лініями (ПЛ) електропередачі на змінному струмі. ПЛ, що належать до системоутворюючих мереж, споруджують зазвичай на напругу вище, ніж напруга внутрішньосистемних ліній і включають трансформаторні підстанції по кінцях.

Такі ПЛ використовуються для внутрішньосистемних зв'язків, видачі потужності й зв'язку великих електростанцій та для живлення і об'єднання центрів електропостачання та розподілу електроенергії.

Таким чином, системоутворюючі мережі зв'язують окремі регіони держави, найбільші джерела та центри живлення й характеризуються високим рівнем напруги.

На території України сформовані системоутворюючі мережі з використанням систем напруг 220–330–400 (500)–750 кВ. В даний

час мережі 220 кВ виконують розподільні функції і зона їх дії локалізована районами Західної України.

Основними системоутворюючими мережами в ОЕС є мережі 330 кВ, формування яких почалося в 70-х роках в районах Східної та Південної України, де в той період вводилися в експлуатацію енергоблоки на потужних і надпотужних електростанціях (Слов'янська, Вуглегірська, Запорізька, Криворізька ТЕС).

Системоутворюючі мережі 400–500 кВ в ОЕС України мають обмежене застосування при електричних зв'язках з країнами Східної Європи та в прикордонних районах Північного Кавказу (Росія).

В даний час на території України центральною широтною магістраллю є магістраль 750 кВ (з'єднує підстанції 750/330 кВ Запорізька, Дніпровська, Вінницька та Західноукраїнська) з поперечними зв'язками, що забезпечують приєднання до цієї магістралі потужних генеруючих джерел — Запорізької, Південно-Української та Хмельницької АЕС, а також Чорнобильського вузла 750 кВ. Мережі 330 кВ і 750 кВ формують системоутворюючі мережі України.

На більшій частині території ЕЕС України широке поширення одержали мережі напругою 110–35 кВ. Ці мережі є основними розподільними мережами ЕЕС. Розподільні електричні мережі — це місцеві мережі, що призначені для розподілу електроенергії до споживачів [6].

Призначення розподільних мереж — це розподіл електроенергії безпосередньо споживачам, розподіл електроенергії між підстанціями району електроспоживання, збір потужності, виробленої невеликими станціями (теплофікаційними і гідравлічними), потужності яких становлять десятки, іноді сотні МВат. Безперервне зростання в часі цих потужностей призводить до постійного збільшення номінальної напруги розподільних мереж. Так, ще до недавнього часу розподільні функції покладалися головним чином на мережі 6–35 кВ.

Призначення мереж 110 кВ полягає в передачі (без проміжних відборів) потужності до зон (територій) їх розподілу. На сучасному етапі електрифікації, розвитку господарсько-економічної діяльності, що супроводжується збільшенням навантаження побутовим сектором та охопленням територій, розподільні функції покладаються на мережі 110 кВ. Крім того, зростання потужностей, споживаних

промисловими підприємствами, великими містами, призводить до необхідності застосування глибокого вводу ліній 110 кВ, тобто максимального наближення підвищених напруг до вузлів.

Отже, розподільні мережі включають в себе дві-три ступені (рівня) напруги з трансформаціями 110/35/10 кВ або 110/35/6 кВ. Рівень середньої напруги (СН) відповідає мережам 110 кВ, що живиться від мереж високої напруги (ВН) 330–750 кВ системоутворюючих мереж через трансформацію ВН/СН. Рівень нижчої напруги (НН) представлений мережами напругою 35 кВ, що живляться від мереж СН з трансформацією СН/НН 110/35 кВ, або безпосередньо від мереж ВН з трансформацією ВН/НН з напругою 330/110кВ.

Розподільні мережі специфічні за структурою (складом), конфігурацією і електричними режимами. Структура розподільних мереж визначається їх призначенням. Зокрема, мережі 110 кВ, що виконуються ПЛ, з'єднані автотрансформаторним зв'язком і містять великі підстанції районного значення та можуть об'єднувати електростанції невеликої потужності. Мережі 35 кВ, розраховані на розподіл електроенергії значно менших потужностей і в певній мірі відображають галузеву приналежність.

1.1.3 Оцінка ефективності транспортування та розподілу електричної енергії повітряними лініями змінного струму

Організація ефективного транспортування та розподілу електроенергії в умовах енергоринку є одним з важливих завдань електроенергетики України, яка пов'язана з вирішенням питань як вдосконалення структури ЕЕС в цілому, так і з вдосконаленням структури ПЛ, які виконують основні електричні зв'язки в ОЕС.

Оскільки, ПЛ є відповідальними об'єктами ОЕС, то формування рекомендацій по підвищенню ефективного транспортування та розподілу електричної енергії ПЛ змінного струму повинно ґрунтуватися на принципах системного підходу в рішенні електроенергетичних завдань.

З позицій системного підходу, транспортування та розподіл електричної енергії ПЛ забезпечується комплексом взаємозалежних складових [7].

Для діючих завантажених ПЛ умовою, що обмежує перетоки потужності може бути допустиме зниження напруги на шинах приймальної підстанції, проте це обмеження легко ліквідовується установкою компенсуючих пристроїв і тому не може бути характерним.

Тривало допустимий струм по нагріву будь-якої лінії визначається характеристиками проводу і залежить від особливостей конкретної лінії та від місця її в загальній схемі ОЕС.

На відміну від тривало допустимого струму межа потужності, що передається залежить від параметрів самої лінії, а також від ряду інших умов:

- схеми досліджуваної ділянки ЕМ, яка є складовою ЕЕС;
- схеми і режиму роботи ЕМ, що формують ЕЕС;
- способу перерозподілу потужностей по ЕЕС.

Вимоги до пропускної здатності ПЛ постійно ростуть, при цьому засоби її підвищення різні як по ефективності їх дії, так і за економічними показниками [7].

Однією з груп заходів для підвищення пропускної здатності ПЛ за умовами їх роботи в ЕЕС є зміна параметрів елементів системи:

- зміна параметрів генераторів;
- застосування автотрансформаторів та зміна параметрів трансформаторів;
- компенсація параметрів лінії для скорочення її електричної довжини або штучного надання їй властивостей короткої лінії за допомогою додаткових пристроїв;
- вдосконалення конструкції фази з метою поліпшення електричних параметрів ліній — зниження питомого реактивного опору лінії і збільшення її натуральної потужності;
- збільшення перерізу проводів та застосування спеціальних проводів;
- застосування ліній спеціальної конструкції.

Саме в останні 10 років спостерігається проведення в ряді країн широких програм по створенню різних нових засобів регулювання сталих і перехідних режимів ЕЕС з метою підвищення ефективності транспортування та розподілу електричної енергії. Підсумком цього напрямку є концепція Smart Grid. Це концепція повністю інтегрованої, саморегулюючої та самовідновлюючої системи, яка має

мережеву топологію і включає всі джерела генерації та системоутворюючі і розподільні мережі, а також всі види споживачів електроенергії та керується єдиною мережею інформаційно-керуючих пристроїв і систем в режимі реального часу [8–9].

На рис. 1.6 представлено структурну модель оцінки ефективності транспортування та розподілу електроенергії ПЛ змінного струму з позицій системного підходу [7]



Рис. 1.6. Структурна модель оцінки ефективності транспортування та розподілу електричної енергії повітряними лініями змінного струму з позицій системного підходу

Таким чином, системний підхід дозволяє розв'язати проблему збільшення пропускної здатності не тільки ПЛ, а і ЕЕС в цілому, тому що збалансована взаємодія усіх складових (рис. 1.6) може вирішити завдання по ефективному транспортуванню та розподілу електроенергії ПЛ, яке пов'язане зі збільшенням пропускної здатності електропередач, зниженням втрат потужності, що передається, зменшенням екологічного впливу, скороченням площ відводу

земельних ділянок. Але переважна більшість складових (рис. 1.6) мають змінний характер, що призводить до неповноти вихідної інформації й ускладнює процес формування критеріїв й техніко-економічних моделей ПЛ.

1.2. Конструктивні елементи, які впливають на структуру повітряних ліній

ПЛ змінного струму — це основний об'єкт ЕЕС, який призначений для транспортування та розподілу електроенергії по проводах, що розташовані на відкритому повітрі і прикріплені за допомогою ізоляторів та арматури до опори, кронштейнам або стійкам на інженерних спорудах (мостах, шляхопроводах) [3–5].

Основними елементами ПЛ є провoda для транспортування та розподілу електроенергії, грозозахисні троси для захисту від атмосферних перенапруг (грозових розрядів), опори для підвіски проводів і тросів, ізолятори для ізоляції проводів від опори, лінійна арматура для з'єднання проводів і тросів, а також для кріплення проводів і тросів до ізоляторів і опор.

Смуга землі, на якій споруджено лінію, називають трасою ПЛ. При спорудженні ПЛ для підтримки проводів застосовують проміжні опори, а для натягу та жорсткого закріплення проводів в певних точках лінії — анкерні [3].

Особливістю спорудження ПЛ є виконання порівняльно невеликого об'єму однотипних робіт по збиранню і установці опор і фундаментів в пунктах (пикетах), віддалених один від одного на певній відстані, а також монтажу проводів і тросів по трасі, протяжністю в десятки і сотні кілометрів. Лінійний характер будівництва робить можливим використання потокового методу, що у свою чергу зумовлює необхідність зниження трудовитрат за рахунок уніфікації вживаних конструктивних елементів.

Для визначення можливих напрямків вдосконалення ПЛ доцільно розглянути конструктивні елементи, які впливають на структуру ПЛ.

У табл. 1.2 показано залежність конструктивних елементів ПЛ від чинників, що визначають їх виконання.

Таблиця 1.2

Залежність конструктивних елементів ПЛ від чинників, що визначають структуру ПЛ

Чинники, що визначають структуру ПЛ	Конструктивні елементи ПЛ				
	Провода	Троси	Ізоляція і арматура	Опори	Фундамент
Номінальна напруга	+	+	+	+	×
Марка і перетин проводу	–	–	+	–	+
Кліматичні умови	–	–	+	–	+
Геологічна характеристика траси	–	–	–	×	+
Забруднення атмосфери	–	–	+	–	–

Умовні позначення в табл. 1.2

+ — впливає;

— — не впливає;

× — впливає побічно [11].

Відповідно до табл. 1.2, чинниками, що визначають структуру ПЛ є номінальна напруга, на яку споруджується ЛЕП, а також марка і переріз проводу, кліматичні умови району спорудження ПЛ (товщина стінки ожеледі, вітровий натиск, можливість виникнення «пляски» проводів) і геологічна характеристика траси.

Номінальна напруга ПЛ впливає на вибір перерізів проводів — за умовами механічного та струмового навантаження, а для ПЛ вище 110 кВ й корони; тросів — по експлуатаційній надійності, прийнятій в нормах для ПЛ, а також на габарити ліній і ізоляційні повітряні проміжки, що в свою чергу впливають на вибір ізолюючих елементів, конструкцію опор, а отже, і фундаментів.

Кліматичні і геологічні умови району будівництва впливають на механічні характеристики гірлянд ізоляторів, опор і фундаментів. Міра забруднення атмосфери визначає довжину гірлянди ізоляторів.

Марка і переріз проводу, що є основним конструктивним елементом лінії, у свою чергу впливає на механічні характеристики інших конструктивних елементів — гірлянд ізоляторів, опор і фундаментів.

Врахування перелічених чинників, що визначають структуру ПЛ, призводить до неповноти вихідної інформації. В зв'язку з цим реалізація задачі щодо вдосконалення структури ПЛ потребує формування критеріїв й техніко-економічних моделей ПЛ в умовах неповноти вихідної інформації.

1.3. Існуючі техніко-економічні моделі повітряних ліній

Під «моделлю» розуміється умовний образ (спрощене зображення) реального об'єкта (процесу), який створюється для більш глибокого вивчення дійсності [12].

Практичне значення моделювання полягає в тому що:

- моделі більш зручні для дослідження, ніж вихідні об'єкти. Крім того, деякі об'єкти можна вивчити тільки на моделях;
- моделювання дозволяє виявити найбільш істотні фактори досліджуваного об'єкта чи явища, тому є інструментом для більш глибокого вивчення реальності.

Процес моделювання часто використовується для вирішення складних проблем, оскільки дозволяє уникнути значних труднощів і витрат при проведенні реальних експериментів. Основою моделювання є необхідність відносного спрощення реальної ситуації або події, разом з тим це спрощення не повинне порушувати основних закономірностей функціонування досліджуваної системи.

Розрізняють фізичне і математичне моделювання.

Математичне моделювання — універсальний і ефективний інструмент пізнання внутрішніх закономірностей, властивих явищам і процесам. Воно дає можливість вивчити кількісні взаємозв'язки, взаємозалежності моделюючої системи та вдосконалити її подальший розвиток і функціонування за допомогою математичної моделі.

Перевага математичного моделювання очевидна: вона полягає в можливості отримати інформацію про об'єкт вивчення без про-

ведення справжніх експериментів. А це, в свою чергу, виправдовує витрати на розробку алгоритмів і методів вирішення поставлених завдань [12].

Найбільш важливими моделями, які використовуються при дослідженні розвитку і функціонуванні техніко-економічних процесів є математичні. Будь-яка модель задачі дослідження окремого класу включає в себе змінні, систему обмежень і мету.

Мета — це цільова функція, яка задається на безлічі припустимих рішень. Цільова функція математично пов'язує між собою фактори моделі, її значення і визначається значеннями цих величин. Змістовне тлумачення цільової функції надає критерій оптимальності.

Критерієм оптимальності називається певний показник, який має техніко-економічний сенс та визначає розуміння змісту цільової функції. Параметри і константи цільової функції — це незалежні від часу техніко-економічні показники і нормативні коефіцієнти, які характерні для об'єкту і включаються в моделі через систему обмежень [12].

Система обмежень визначає межі існування області існуючих та допустимих рішень і характеризує основні зовнішні та внутрішні властивості об'єкта. Обмеження визначають область відбуття процесу, границі зміни параметрів і характеристик об'єкта.

Реалізація математичної моделі називається такий набір (сукупність) значень змінних, які задовольняють її обмеженням та дають оптимальне значення цільової функції.

Серед допустимих варіантних рішень моделі, як правило, знаходиться одне рішення, при якому цільова функція в залежності від вмісту моделі має найбільше або найменше значення. Таке рішення, як і відповідне значення цільової функції, називається оптимальним [12].

1.3.1. Застосування математичного моделювання для аналізу техніко-економічних моделей повітряних ліній

Математичне моделювання є одним з ефективних методів опису функціонування складних техніко-економічних об'єктів і процесів у вигляді математичних моделей.

В математичному моделюванні виділяють дві задачі — детерміновані та стохастичні.

Детерміновані задачі не містять випадкових змінних або параметрів. Вся вихідна інформація повністю визначена.

В стохастичних задачах використовується вихідна інформація, яка містить елементи невизначеності, або деякі параметри приймають значення відповідно до визначених функцій розподілу випадкових величин.

Якщо у відповідних техніко-економічних процесах випадкові явища не відіграють істотної ролі, то задачу можна розв'язувати як детерміновану. В іншому випадку адекватна математична модель повинна бути стохастичною, тобто містити випадкові функції та величини.

Кожен з названих напрямків включає типи задач математичного моделювання, які в свою чергу діляться на інші класи.

Як детерміновані, так і стохастичні задачі можуть бути статичними (однокрокові) або динамічними (багатокрокові). Оскільки процеси в електроенергетичній галузі розвиваються в часі, то відповідні техніко-економічні моделі повинні відображати їх динаміку. Поняття динамічності пов'язане зі змінами об'єкта (явища, процесу) в часі.

Задачі математичного моделювання поділяють на дискретні і безперервні. Дискретними називають задачі, в яких один, кілька або всі змінні набувають лише дискретних значень. З них окремих тип складають задачі, в яких одна або кілька змінних набувають цілочислових значень. Їх називають задачами цілочислового моделювання. Якщо всі змінні можуть приймати будь-які значення на деяких інтервалах числової осі, то задача є неперервною.

Оскільки в техніко-економічних моделях залежності між показниками описані за допомогою функцій, то згідно їх увазі всі згадані типи задач поділяють на лінійні та нелінійні. Якщо цільова функція і обмеження є лінійними, тобто містять змінні тільки в першому чи нульовому ступенях, то така задача є лінійною. У всіх інших випадках задача буде нелінійною.

Останнім часом проблема неповноти вихідної інформації є найбільш актуальною і знайшла своє відображення в роботах [11–13].

Правильне техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень забезпечує економічну, надійну й екологічно безпечну роботу об'єктів ЕЕС при мінімумі витрат на їх утримання.

Раніше для вибору найбільш доцільного варіанту застосовувалися критерії мінімуму приведених витрат або максимуму річного економічного ефекту. Для техніко-економічних розрахунків в області енергетики рекомендували приймати нормативний строк окупності T_n у межах 7–10 років. Відповідно до цієї рекомендації величину T_n було взято за 8 років, а $E_n = 0,125$. Крім цього рекомендували диференціювати нормативні коефіцієнти за галузями промисловості з урахуванням структури фондів, особливостей тієї або іншої галузі, а також темпів технічного прогресу в цих галузях. Норми амортизації були встановлені з великим усередненням і не були диференційовані за номінальною напругою. Економічні показники, такі, як відрахування на реновацію й ремонт, коефіцієнт ефективності капіталовкладень, вартість ресурсів і виробленої енергії визначалися, як правило, на основі директивних документів [14].

В умовах енергоринку всі вартісні характеристики визначаються в результаті взаємодії на ринку інтересів виробників і споживачів електроенергії. Якщо зіставити раніше пропоновані критерії з методологією сучасних техніко-економічних розрахунків, то формально використовувані формули ідентичні. Але аналогія полягає тільки у формі запису критерію, а змістовні сторони істотно відрізняються.

В умовах енергоринку використовується не нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень E_n , а такі показники, як відсоток на капітал (кредитна ставка), податки, страховки.

Амортизаційні відрахування на реновацію основних фондів необхідно приймати з обліком дисконтування. Зважаючи на те, що відбувається нерівномірне зростання цін на ресурси, устаткування і робочу силу при визначенні витрат необхідно також враховувати інфляцію.

Звичайно, при побудові моделей практично неможливо врахувати усі внутрішні, часто стохастичні зв'язки. Але через те, що інформація про такі зв'язки звичайно неповна і найчастіше невизначена, то формалізація задачі оптимізації вимагає врахування додаткових критеріїв.

Математичні моделі, які характеризують єдину ціль, не завжди дають досить адекватне представлення про процес вибору найкращого рішення. До орієнтованого на єдину ціль відносяться рішення, наслідки яких можуть бути описані єдиною, наприклад, фінансовою категорією параметрів. Проте часто викликають інтерес безлічі цілей, елементи яких не можуть бути виражені однозначно. Багатомірні цілі можуть перебувати одна з одною у таких зв'язках:

- цілі взаємно нейтральні;
- цілі кооперуються;
- цілі конкурують.

Оптимізаційні задачі енергетики є багатокритеріальними. Багатокритеріальність — це наявність декількох критеріїв, причому суперечливих критеріїв, при оцінці ефективності функціонування й розвитку систем енергетики. Оскільки, по-перше, не завжди якість ЕЕС оцінюється одним показником; по-друге, не всі фактори, які впливають на якість ЕЕС, можуть бути доволіно змінені, тож слід враховувати наявність неконтрольованих факторів. Однак, незважаючи на очевидність багатокритеріального характеру енергетичних задач, вони порівняно довго розглядалися як однокритеріальні, оскільки були відсутні об'єктивні методи рішення багатокритеріальних задач [12].

1.3.2. Оцінка існуючих техніко-економічних моделей повітряних ліній

Принцип взаємозв'язку економічного аналізу з рішенням технічних питань — актуальний напрямок в умовах енергоринку. Зміни форм господарювання призвели до зміни відображення оцінки ефективності транспортування та розподілу електроенергії, а ринкові відносини передбачають нові підходи при аналізі дисконтованих витрат в проектування, будівництво та обслуговування ПЛ, що й обґрунтовує необхідність приведення до сучасних ринкових умов моделей і методів техніко-економічного аналізу ПЛ.

Актуальність і складність проблеми обумовлена тим, що існуючий раніше підхід [15, 16] не враховує деяких факторів, які впливають на загальні інвестиційні вкладення в електромережеві об'єкти.

Так, капітальні витрати в проектування 1 км ПЛ мали питомі нормативи, які склалися з:

- витрат на підготовку території під об'єкт;
- витрат на монтаж обладнання;
- витрат на будівництво тимчасових будівель та споруд і на інші роботи;
- вартість проектно-дослідних робіт;
- резерву на непередбачені витрати [17, 18].

Перехід до ринкових відносин обумовив наявність приватної власності, де територія під електромережевий об'єкт, зокрема для траси ПЛ, є товаром і повинна враховуватися у формуванні вартості даного об'єкту. Тому виникла необхідність перегляду дисконтованих витрат в проектування ПЛ для приведення їх у відповідність з сучасними ринковими відносинами [19, 20].

Розрахунок інвестиційних вкладень в проектування електромережевого об'єкту був доповнений такими питомими нормативами, як:

- вартість відводу території під електромережевий об'єкт з урахуванням його розмірів, так для ПЛ — довжини лінії;
- враховування темпів інфляції.

Виходячи з вище викладеного, техніко-економічна модель для розрахунку дисконтованих витрат 1 км ПЛ має вигляд:

$$B = B_1 + B_2 = ((E + p)(a + vF)) + ((3F\rho\tau\beta)/F), \quad (1.1)$$

де B_1 — інвестиційна складова техніко-економічної моделі ПЛ (інвестиційні вкладення);

B_2 — технічна складова техніко-економічної моделі ПЛ (експлуатаційні витрати);

E — реальна процентна ставка визначається як

$$E = [(E_{\text{ном}} + 100)/(i + 100) - 1] \cdot 100, \quad (1.2)$$

де $E_{\text{ном}}$ — номінальна процентна ставка %;

i — темп інфляції;

p — коефіцієнт відрахувань на амортизацію, ремонт та обслуговування лінії $p = p_a + p_{\text{рем і обл}}$;

a — постійна складова вартості, яка не залежить від перерізу проводу, г.о/км;

ϵ — коефіцієнт подорожчання, що враховує зміну вартості спорудження 1 км лінії залежно від перерізу проводу г.о / (км мм²);

F — переріз проводу, мм²;

I — максимальний струм лінії при нормальному режимі, А;

ρ — питомий опір провідникового матеріалу, Ом мм²/км;

τ — час максимальних втрат, ч, визначається як

$$\tau = (0,124 + T_{\max}/10^4)^2 8760, \quad (1.3)$$

де T_{\max} — максимальний час використання;

β — питома вартість втрат електроенергії, г. о/(кВт год).

В умовах ринкових відносин інвестиційна складова на 1 км ПЛ складається з відрахування плати за кредит і амортизаційних відрахувань [14]. Ця залежність з урахуванням інфляції в умовах ринкової економіки для різних класів напруги складає:

$$B_1 = \left(\frac{E_{\text{ном}} + 100}{\alpha + 100} - 1 \right) \left(1 + \left[\left(\frac{E_{\text{ном}} + 100}{\alpha + 100} \right)^{T_{\text{сл}}} - 1 \right]^{-1} \right) K_i, \quad (1.4)$$

де B_1 — інвестиційна складова на 1 км ліній, г. о.;

$E_{\text{ном}}$ — номінальна процентна банківська ставка, %;

α — темп інфляції;

$T_{\text{сл}}$ — нормативний термін служби обладнання, рік;

K_i — вартість ПЛ i -го класу напруги.

Вартість ПЛ різного класу напруги залежить від конструкції об'єкта і складається з базових показників вартості ПЛ (без ПДВ), які враховують всі витрати виробничого призначення і відповідають середнім умовам будівництва та нормативного тиску по механічній міцності до 600 Па. Для одержання загальної вартості ПЛ до базисних показників додаються також:

- витрати на будівництво тимчасових будівель та споруд;
- вартість проектно-дослідних робіт та авторського нагляду;
- витрати на інші роботи [17, 18].

Оскільки перехід до ринкових відносин обумовив наявність приватної власності, то одним з суттєвих факторів, який впливає на

загальну вартість ПЛ є витрати на відчуження земельної ділянки під електромережеві об'єкти.

Території уздовж ПЛ згідно з нормативними актами України [21–23] у вигляді земельної ділянки і повітряного простору, обмежених вертикальними площинами, що віддалені по обидві сторони лінії від крайніх проводів за умови невідхиленого їх положення мають мінімально допустимі відстані:

— до будинків, споруд нормуються відповідно класу напруги і складають: для ПЛ напругою до 1 кВ — 2 м; до 20 кВ — 10 м; 35 кВ — 15 м; 110 кВ — 20 м; 150, 220 кВ — 25 м; 330 кВ — 30 м; 750 кВ — 40 м;

— у насадженнях низькорослих порід дерев висотою до 4 метрів — завширшки не менше за відстань між крайніми проводами повітряної лінії електропередачі плюс 6 метрів (по 3 метри з кожного боку від крайнього до гілок дерев проводу), за умови проходження повітряних ліній електропередачі над територією фруктових садів з насадженнями висотою до 4 метрів прокладання просік не обов'язкове;

— у насадженнях висотою понад 4 метри — завширшки не менше за відстань між крайніми проводами плюс відстань, що дорівнює середній висоті існуючих насаджень основного лісового масиву з кожного боку від крайнього проводу повітряної лінії електропередачі, при цьому окремі дерева або групи дерев, які ростуть на краю просіки, підлягають вирубці, якщо їх висота перевищує відстань по горизонталі від гілок дерев до проводів ПЛ електропередачі;

— у міських та районних парках, скверах, лісопарках, приполюсних, байрачних лісах, особливо цінних лісових масивах, лісах степових, лісостепових, гірських районів, які мають важливе значення для захисту навколишнього природного середовища, лісах населених пунктів, лісах зон округів санітарної охорони лікувально-оздоровчих територій необхідно забезпечувати таку ширину просік, щоб відстань від проводів під час їх найбільшого відхилення до гілок дерев по горизонталі була не менш, як 2 метри для повітряних ліній напругою 20 кВ, 3 метри відповідно напругою 35–110 кВ, 4 метри — 150–220 кВ, 5 метрів — 330–500 кВ, 8 метрів — 750 кВ [21–23].

У таблиці 1.3 наведені середні значення складових вартості в загальній вартості 1 км ПЛ різних класів напруги.

Таблиця 1.3

Питома частина складових витрат в загальній вартості 1 км.
ПЛ різних класів напруги, відн. од.

Призначення витрат	Напруга, кВ			
	35	110	330	750
Базисний показник вартості	76	78	81	82
Витрати на будівництво тимчасових будівель і споруд	2,5	2,5	2,5	3,0
Вартість проектно-дослідницьких робіт і авторського нагляду	7,5	7,5	7,5	8,0
Інші роботи і витрати	3,0	3,0	3,0	3,0
Витрати на відведення земельної ділянки	11	9	6	4

Вартість відведення земельної ділянки (табл. 1.3) для ПЛ приймається з урахуванням класу напруги ПЛ, конструктивного виконання об'єкта, розрахункових значень площі відводу під опори ПЛ, розмірів траси ПЛ та оціночної вартості землі. Так, за даними Державного Комітету по земельних ресурсах офіційна оцінка землі в середньому по Україні складає 1602,5 дол./10000 м² [19]. Площа відведення земельної ділянки для 1 км ПЛ різного класу напруги та різного конструктивного виконання розраховується згідно з нормативними документами та враховує особливості місцевості по якій проходить траса ПЛ [17–22].

1.4. Існуючі методи аналізу техніко-економічних моделей повітряних ліній в умовах неповноти інформації

1.4.1. Аналіз методів аналізу техніко-економічних моделей повітряних ліній

Після того, як побудована техніко-економічна модель необхідно знайти метод її реалізації. Вибір того чи іншого методу реалізації залежить від класу функції і обмежень, які присутні в конкретному завданні.

Математичне програмування розглядає властивості та реалізацію техніко-економічних моделей. Початком математичного програмування в сучасному розумінні вважають праці радянського вченого Л. В. Канторовича. В кінці 30-х років у Ленінградському університеті ним вперше були сформульовані і досліджувалися основні завдання, критерії оптимальності, економічна інтерпретація, методи вирішення і геометрична інтерпретація результатів рішення задач лінійного програмування (1939 року Л.В. Канторович опублікував монографію «Математичні методи організації і планування виробництва»). Сам термін «лінійне програмування» був введений дещо пізніше, в 1951 році, в роботах американських вчених Данцига Дж. і Кумпанса Г. Однак у своїй монографії Дж. Данциг зазначає, що Л.В. Канторовича слід визнати першим, хто виявив, що широке коло важливих виробничих завдань може бути подано в чіткому математичному формулюванні, яке робить підхід до таких завдань з кількісної сторони і їх рішення чисельними методами [24–27].

В 1947 р. Дж. Данцигом також був розроблений метод рішення задач лінійного програмування — симплексний метод, який вважається початком формування лінійного програмування як самостійного напрямку в математичному програмуванні [28].

Наступним кроком стали роботи Дж. Неймана (1947 р.) з розвитку концепції подвійності, що дозволило розширити практичну сферу застосування методів лінійного програмування [24].

Періодом інтенсивного розвитку математичного програмування є п'ятдесяті роки. У цей час з'являються розробки нових алго-

ритмів, теоретичні дослідження з різних напрямків математичного програмування [24–27]:

- 1951 рік — робота Г. Куна і А. Таккера, в якій наведені необхідні і достатні умови оптимальності нелінійних задач;
- 1954 рік — Чарнес і Лемке розглянули наближений метод рішення задач по сепарабельному опуклому функціоналу та лінійними обмеженнями;
- 1955 рік — ряд робіт, присвячених квадратичному програмуванню.

У п'ятдесятих роках сформувався новий напрямок математичного програмування — динамічне програмування, значний внесок у розвиток якого вніс американський математик Р. Беллман [29].

На сьогоднішній день найбільш розробленим є метод лінійного програмування. Основною перевагою даного методу є те, що він ефективний в реалізації завдань з великим числом змінних [12].

Наряду з методом лінійного програмування застосовуються і інші вищезгадані методи математичного програмування. Це пов'язано з тим, що в більшості випадків детальна розробка техніко-економічних моделей виявила нелінійний характер основних економічних зв'язків об'єкту, що підлягає оптимізації.

Нині опублікована достатня кількість робіт теоретичного характеру, спрямованих на вдосконалення методів як лінійного так і нелінійного програмування [12–30]. Застосування того або іншого методу, як відзначалося, залежить від того класу завдань, реалізація якого найбільш ефективна в даному випадку. Наприклад, якщо функція має марківську властивість, то в цьому випадку є ефективним метод динамічного програмування. [29].

При проектуванні в електроенергетиці виникає цілий ряд цілочисельних або комбінованих завдань, які можуть бути вирішені з використанням формалізованого методу [3].

Також при проектуванні в електроенергетиці застосовують ряд методів реалізації, які побудовані на алгоритмах випадкового пошуку. Так для вирішення деяких задач дуже ефективний метод по координатної оптимізації, що припускає відшукання глобального екстремуму на кожному кроці і по кожній змінній [31]. Для задач

оптимального керування електроенергетичними об'єктами в ряді випадків застосовується метод статистичних випробувань [32].

Всі перераховані методи мають істотний недолік. Вони не дуже ефективні, виключаючи лінійне програмування, для реалізації задач великої розмірності при неповній вихідній інформації.

Для реалізації подібного роду задач, тобто аналізу техніко-економічних моделей, що представляють собою функції мети багатьох змінних і відносяться до певного підкласу, найбільш ефективним є критеріальний метод, що дозволяє провести комплексне дослідження рішення задачі при неповній та невизначеній інформації [12, 30, 33].

1.4.2. Застосування критеріального методу для аналізу техніко-економічних моделей повітряних ліній.

У 70-х роках минулого століття на кафедрі Московського енергетичного інституту (МЕІ) розроблено метод критеріального програмування [33].

Критеріальний метод базується на теорії подібності та дозволяє мінімізувати поліном виду

$$Y_{(x)} = \sum_{i=1}^{m_1} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}, \quad x_j \geq 0, \quad (1.5)$$

де A_i — позитивні узагальнені константи, які несуть детермінований або ймовірнісний характер залежно від умов завдання і представляють собою вихідну інформацію про об'єкт;

x_j — параметри оптимізації, позитивні змінні;

α_{ij} — показники ступеня, дійсні числа;

m_1 — число доданків в поліномі;

n — число незалежних параметрів.

Обмеження, які накладає на окремі змінні x_j і на їхні комплекси, представляються у вигляді поліномів аналогічних (1.5) [30].

Обмеження, які накладає на окремі змінні x_j і на їхні комплекси:

$$q_k(x) = \sum_{i=m_{k+1}}^{m_{k+1}} A_i \prod_{j=1}^i x_j^{\alpha_{ij}} \leq 1. \quad (1.6)$$

В деяких випадках формування обмежень складне, а іноді неможливе, що викликає певні труднощі при аналізі об'єкта оптимізації.

Необхідною умовою існування умовного мінімуму функції з урахуванням всіх обмежень є вимога канонічності функції, під яким розуміють виконання наступного співвідношення:

$$M - n - 1 = 0, (M = n + 1), \quad (1.7)$$

де M — загальне число доданків в поліномі і обмеженнях.

Алгоритми критеріального програмування дозволяють знайти оптимальні і кількісні економічні зв'язки об'єкту як при заданій, так і неповній вихідній інформації. Окрім цього, перевагою даного методу є, те що поряд з визначенням оптимальних значень функції мети і параметрів оптимізації можливо оцінити стійкість функції до зміни параметрів в межах точки мінімуму, дослідити чутливість рішення задачі до зміни вихідної інформації.

Перевагою критеріального методу є:

- визначення оптимальних значень функції мети;
- параметрів оптимізації; оцінка стійкості функції до зміни параметрів довкола точки мінімуму;
- дослідження чутливості рішення задачі при зміні вихідної інформації. [30, 33]

При вирішенні техніко-економічних завдань важливо знати вплив відхилення вихідної інформації на вихідний економічний варіант. Дослідження чутливості дозволить обґрунтувати необхідну ступінь точності вихідної інформації. Особливо добре даному аналізу піддаються канонічні моделі.

Канонічні моделі можуть бути представлені у вигляді поліному

$$Y = A_0 \sum_{i=1}^{n+1} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}. \quad (1.8)$$

Критеріальний метод дозволяє дослідження даної функції (1.8) в діапазоні $n + 1$ базисної точки — мірному просторі параметрів оптимізації x_j та функції Y . Постійна складова A_0 (1.8) має значення

тільки при оцінці повної величини функції, в інших випадках нею можна знехтувати, тоді

$$Y_1 = \sum_{i=1}^{n+1} A_i \prod_{j=1}^n x_j. \quad (1.9)$$

Дуже часто узагальнені константи A_i відомі лише наближено, тому застосовується критеріальний метод дозволяє вести дослідження на моделях, представлених в критеріальній формі і які мають вигляд:

$$Y_{*1} = \sum_{i=1}^{n+1} \pi_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}, \quad (1.10)$$

де π_i — критерій подібності, який визначається як:

$$\pi_i = \frac{A_i}{y_{*1}} \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}}, \quad i = \overline{1, n+1}, \quad (1.11)$$

де $\tilde{\alpha}_{*j}$ — відносне значення параметрів оптимізації;

α_{ij} — дійсні числа;

$\tilde{\alpha}_{*1}$ — відносна величина змінної частини функції (рис. 1.7).

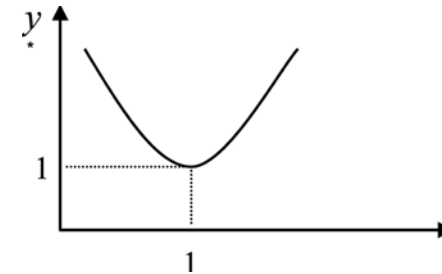


Рис. 1.7. Критеріальна форма представлення моделі

Для визначення критеріїв подібності π_i з (1.11) необхідно знати величину узагальнених констант A_i , заздалегідь вибравши базисне значення функції y_i . У тому випадку, якщо відсутня інформація про A_i , то визначення критеріїв подібності базується на умовах ортогональності і нормування:

$$\sum_{i=1}^{m_1} \pi_i = 1; \quad (1.12)$$

$$\frac{dy}{dx_j} \Big|_{x_{\bar{j}} = x_j} = \frac{y_{\bar{j}}}{x_{\bar{j}}} \sum \alpha_{ij} \pi_i = 0, \quad j = \overline{1, n}. \quad (1.13)$$

Сформулювавши основні ознаки канонічності функції (1.13) необхідно дотримуватися умови — число доданків в поліномі повинно на одиницю перевищувати число змінних $X = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$.

Систематизування процедури проводиться, аналізуючи матрицю складену із показників ступеня x_j . Так, як аналогічні матриці використовуються при визначенні критеріїв подібності методом аналізу розмірностей, то вони називаються матриці розмірностей [12, 30].

Розглянемо квадратичну матрицю A_1 порядку $(n + 1)$, отриману шляхом приєднання до матриці розмірностей (α_{ij}) стовпця, складеного з одиниць

$$A_1 = \begin{pmatrix} \alpha_{11} & \alpha_{12} & \dots & \alpha_{1n} & 1 \\ \alpha_{21} & \alpha_{22} & \dots & \alpha_{2n} & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{n+11} & \alpha_{n+12} & \dots & \alpha_{n+1n} & 1 \end{pmatrix}. \quad (1.14)$$

Для того щоб функція (1.14) була канонічної необхідно, щоб алгебраїчні доповнення елементів останнього стовпця матриці A_1 були відмінні від нуля і мали один знак. Якщо дотримується умова канонічності, то функція має єдину точку екстремуму x_0 , в якій досягається мінімум [33]

$$d^2 y(x_0) = 0. \quad (1.15)$$

Для аналізу стійкості таких функцій до зміни параметрів оптимізації в межах базисної точки була запропонована апроксимація функції мети (1.15) членами другого порядку розкладання ряду Тейлора в точці мінімуму [34]. В цьому випадку область економічної стійкості представляється приблизно еліпсоїдом.

Для аналізу функції з обмеженнями застосовують функцію Логранжа [30, 34], мінімум якої по змінним збігається з умовою мінімумів функції мети з обмеженнями. Ця функція має вид:

$$L(x) = y(x) + \sum_{k=1}^p \mu_{k0} [q_k(x) - 1], \quad (1.16)$$

де $L(x)$ — функція Логранжа;

$y(x)$ — функція мети;

$q_k(x)$ — кількісні обмеження;

μ_{k0} — невизначені множники Логранжа, значення яких визначаються при знаходженні умовного мінімуму.

Функція $y(x)$ з обмеженнями $q_k(x)$ має умовний мінімум якщо система рівнянь:

$$\sum_{i=1}^M \alpha_{ij} \pi_i = 0, \quad j = \overline{1, n} \quad (1.17)$$

отримана з похідних функцій Логранжа в точці мінімуму, що має хоча б одне позитивне рішення $\pi_i > 0, i = 1, M$ (M — загальне число доданків функції мети і обмежень) [34].

Таким чином, при виконанні умов канонічності, техніко-економічні моделі вирішуються досить просто і практично реалізують усі техніко-економічні завдання критеріального програмування (стійкість, чутливість та ін.) як при заданій, так і при невизначеній вихідній інформації. Ось чому однією з оптимальних форм вирішення техніко-економічних завдань є запропоноване представлення моделей, що задовольняє умовам канонічності і може використовувати для реалізації існуючі алгоритми критеріального методу та прикладні програми ПЕОМ [30, 34].

Але в електроенергетиці не завжди виконуються умови канонічності функції мети, а саме $M_1 \neq n + 1$. Це пов'язано з мірою складності завдання d , тобто $d = M_1 - n - 1$.

У разі, коли $M_1 < n + 1$, не має такого рішення, що задовільняло б умові канонічності. З цього витікає, що система однорідних рівнянь або квадратна, або має число рядків більше числа змінних. В цьому випадку повинна існувати лінійна залежність між змінними. Отже,

якщо число змінних зменшити, то нова модель можливо стане канонічною, або система рівнянь в даному випадку не матиме рішення.

Якщо $M_1 > n + 1$, то система лінійних рівнянь неоднорідна і відноситься до завдань з позитивною мірою складності. В даному випадку буде прямокутна матриця, а з неї завжди можна виділити квадратну матрицю порядку $n + 1$. Причому, якщо алгебраїчні доповнення Δ_i останнього рядка такої матриці відмінні від нуля і мають один знак, то це рівносильно умові існування єдиного позитивного рішення системи лінійних рівнянь за визначенням критеріїв подібності. При цьому значення отриманих критеріїв подібності π_i ($i = 1, n + 1$) виражаються через значення інших критеріїв π_{iM-n-1} подібності.

Таким чином, критеріальний метод має всі можливості для дослідження та аналізу техніко-економічних зв'язків в електроенергетиці і дозволяє вести аналіз при неповній вихідній інформації. Можливою реалізацією критеріального методу є рішення по одному з критеріїв і заміна додаткових критеріїв системою обмежень. У кожному конкретному випадку виділення обмежень та побудова системи «головного критерію» пов'язане з умовами задачі, з тактикою і методикою його реалізації [30–35].

1.5. Оптимальний параметричний ряд перерізів проводів повітряних ліній, як основа вдосконалення структури ліній

При постійно зростаючих тарифах на електроенергію найбільшого інтересу набуває оптимізація параметричного ряду перерізів проводів ПЛ.

Оскільки на вартість струмоведучої частини (проводів) припадає близько 30 % загальної вартості ПЛ. За узагальненими даними вітчизняного досвіду, вартість струмоведучої частини (проводів) у загальній вартості ПЛ складає:

- для ПЛ розподільних мереж 28–30 %;
- для ПЛ системоутворюючих мереж 30–32 % [36].

Дослідження структури витрат на електромережіві об'єкти світу, що проведене комісією СІПРЕ дало результати наведені в табл. 1.4

Таблиця 1.4

Структура витрат на електромережіві об'єкти світу

Елемент ПЛ	Доля вартості, %, при напрузі	
	35–110 кВ	330 — 750 кВ
Струмоведуча частина	31,5	34,1
Арматура	3,5	3,9
Ізоляція	9,3	6,9
Опора	36,0	36,4
Фундамент	19,7	18,7

Розвиток електроенергетики, переваги стандартизації в електромережевому будівництві, і зокрема в структурі ПЛ, зумовили тенденцію до зменшення числа застосовуваних в кожній країні марок проводів [37–39].

У Великобританії послідовно проводиться робота по зменшенню кількості застосовуваних марок проводів. Якщо в 30-ті роки минулого століття в ЕМ 11,33–132 кВ застосовувалось 60 марок, то в наш час їх кількість значно скоротилася. Значний ефект було отримано за рахунок використання в мережах 132–275–400 кВ тільки двох марок проводів — АС 175 и АС 400. Ці марки використовуються в наступних поєднаннях:

132 кВ 275 кВ 400 кВ

Легкі умови 1×175 2×175 2×400

Тяжкі умови 1×400 2×400 4×400

У Німеччині для ліній 110–220–400 кВ застосовується, як правило, одна марка сталевалюмінієвого провода: раніше — 240/40 мм² (для ПЛ 380 кВ — 4×240), в останній час — 560/50 мм² (для ліній 220–380 кВ — розщеплені на два провода в фазі). Для багатоланцюгових ПЛ 400 кВ застосовуються також провода 340/40 мм² — по чотири провода в фазі.

У Італії розроблена шкала по уніфікації сталевалюмінієвих проводів для використання на ПЛ 132–380 кВ, що містить вісім перерізів, з яких для широкого застосування рекомендовані три: 128/21, 265/43 та 520/66 мм².

У Болгарії для ПЛ до 110 кВ включно застосовують провід перерізом АС-400, а для ПЛ 220–400 провід перерізом АС-500.

У Швеції для перших ліній 400 кВ застосовувався провід перерізом по алюмінію 593 мм² (два–три провoda в фазі), в останній час застосовують АС 775 (три провoda в фазі).

У Франції в мережах 225–400 кВ застосовують дві марки сталевалюмінієвих провідів — перерізом 411 и 570 мм². Провода АС 411 підвищуються при реконструкції і переводі на 400 кВ старих ПЛ (два в фазі), на нових ПЛ застосовуються провoda АС 570 (три в фазі).

У Австрії при введенні напруги 400 кВ для ліній були прийняті провoda АС 480/65 по два-три в фазі.

У Чехії в мережах 110 кВ замість провoda АС 150 перейшли на застосування провoda АС 240, а в мережах 400 кВ замість 3×350 мм² — на 3×450 мм². Скорочення асортименту застосовуваних для ПЛ 110–400 кВ провідів призвело до того, що рекомендуються три марки — АС 240, 450 і 670.

У Польщі для ліній 110 кВ в кінці 60-х — на початку 70-х років застосовувались три марки провoda — АС 120, 185 і 240, в останні роки це число скорочено до двох (виключено переріз 185 мм²). Для ліній 220–400 кВ застосовується одна марка провoda 525 мм² (для 400 кВ — два провoda в фазі).

Приведені дані дозволяють виявити чітку тенденцію в країнах Євросоюзу до стандартизації у національному масштабі мінімального асортименту провідів для ліній 110–400 кВ.

У США така тенденція не простежується з огляду на те, що стандартизація здійснюється в рамках окремих багаточисельних енергосистем.

У ОЕС України відповідно з ПУЕ рекомендовані наступні перерізи провідів:

- для ПЛ 750 кВ (п'ять провідів в фазі) — 300 мм².
- для ПЛ 330 кВ (два провoda в фазі) — 400 мм²;
- для ПЛ 110 кВ — 120, 240 мм²;
- для ПЛ 35 кВ — 70, 95, 120 мм² [23].

Але на сучасному етапі в ЕЕС України застосовують нижчеперелічені перерізи провідів [40]:

в системоутворюючих ЕМ:

- для ПЛ 750 кВ (чотири або п'ять провідів в фазі) — 300, 400, 500 мм²;
 - для ПЛ 330 кВ (два провoda в фазі) — 240, 300, 400, 500 мм²;
- в розподільних ЕМ:
- для ПЛ 110 кВ — 120, 150, 185, 240, 300 мм²;
 - для ПЛ 35 кВ — 70, 95, 120, 150 мм².

Таке різноманіття застосовуваних перерізів провідів пов'язано з тим, що в Україні підвищенню витрат на спорудження ПЛ при збільшенні перерізу провідів протиставляється зниження витрат на компенсацію втрат потужності і електроенергії при її транспортуванні та розподілу. Але вказане різноманіття перерізів провідів призводить до збільшення впливу неоднорідності мереж, що збільшує втрати потужності і електроенергії при транспортуванні та розподілу, а також перешкоджає принципам уніфікації ПЛ в цілому.

При проектуванні ПЛ вибір перерізу провідів проводиться не порівняльним техніко-економічним розрахунком у кожному окремому випадку, а по нормованим узагальненим показникам відповідно до нормативної документації. [17, 18, 21 — 23].

Такі показники використовують нормовані значення заданої економічної щільності струму, які для ПЛ встановлені в межах 1–1,5 А/мм² залежно від району країни і кількості годин використання максимуму навантаження. Переріз провідів вибирається з врахуванням зміни струму навантаження за роками експлуатації лінії. Значення економічної щільності струму встановлені для прямолинійної залежності вартості спорудження ліній від перерізу провідів.

Перехід до будівництва ПЛ на уніфікованих опорах істотно змінив співвідношення у вартості ліній з різними перерізами провідів. Такий підхід передбачає вживання для ПЛ кожної номінальної напруги обмеженої кількості типів опор, призначених для всього діапазону перерізів провідів, використовуваних на лініях цього класу. Будучи заходом технічно і економічно ефективним з точки зору індустріалізації лінійного будівництва, уніфікація опор призводить до того, що залежність змінної частини вартості лінії від перерізу провідів перестала бути лінійною. Таке положення пояс-

нюється тим, що зменшення розрахункового прольоту і відповідно збільшення кількості проміжних опор при зниженні перерізу проводу особливо істотно в діапазоні АС 70 — АС 120, оскільки ПУЕ вимагають зниження тяжіння, що допускається, для цих проводів із-за їх недостатньої механічної міцності (на 11 % проти того, що приймається для АС 120 і вище). Тому зростання витрат на опори і ізоляцію не компенсується різницею у вартості проводу, що і призводить до підвищеної вартості будівництва таких ПЛ.

У існуючих економічних умовах точність визначення розрахункових навантажень (перетікань потужності) навряд чи істотно підвищиться. В той же час число використовуваних в ЕМ перерізів проводів заперечує принципам уніфікації елементів ПЛ і перешкоджає можливості:

- повного переходу до типового проектування і спорудження ПЛ на базі обмеженого набору марок проводів, конструкцій опор, арматури і т.і.;
- поліпшення організації комплектування будівельних майданчиків, створення умов для гнучкого маневрування при спорудженні ПЛ;
- скорочення номенклатури інструментів і пристосувань, вживаних при монтажі проводів на ПЛ і ін.

Тому питання оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ є актуальним й дозволить вдосконалити структуру ПЛ та:

- полегшити умови розробки мінімуму типоразмірів економічних конструкцій уніфікованих опор;
- повністю типізувати проектування і спорудження ПЛ на базі обмеженої кількості марок проводів, конструкцій опор і фундаментів, ізоляції і арматури;
- поліпшити умови комплектації проводів, створити певну гнучкість в маневруванні запасами проводу для ПЛ, що будуються;
- скоротити кількість інструментів і пристосувань, вживаних при монтажі проводів;
- отримати в перспективі економічний ефект за рахунок більшої спеціалізації устаткування і скорочення втрат часу на його переналадку;

- по мірі збільшення долі уніфікованих ПЛ і загальної протяжності ліній, що експлуатуються отримати позитивний ефект в організації експлуатації.

1.6. Оцінка доцільності вдосконалення структури повітряних ліній

Доцільність оптимізації параметричного ряду перерізів проводів для оцінки впливу неоднорідності мережі за критерієм мінімум технологічних втрат активної потужності при її транспортуванні та розподілу досліджувалась на розрахунковій схемі нормального режиму роботи Південно-Західної енергосистеми (ПЗЕС) України за 2014 р. в програмному середовищі AutoCAD з використанням Граф-САНЕРу.

ПЗЕС України налічує 5 енерговузлів.

1. Тернопільський енерговузол



Рис. 1.8. Узагальнене зображення Тернопільського енерговузла

2. Чернівецький енерговузол

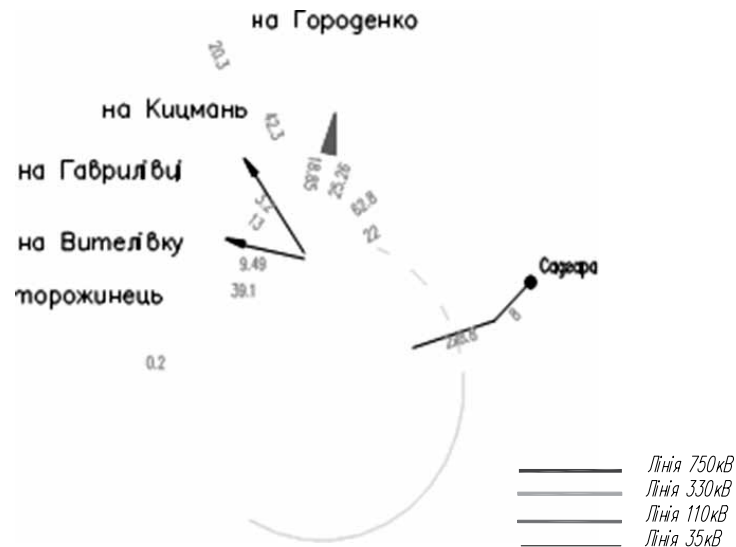


Рис. 1.9. Узагальнене зображення Чернівецького енерговузла

3. Хмельницький енерговузол

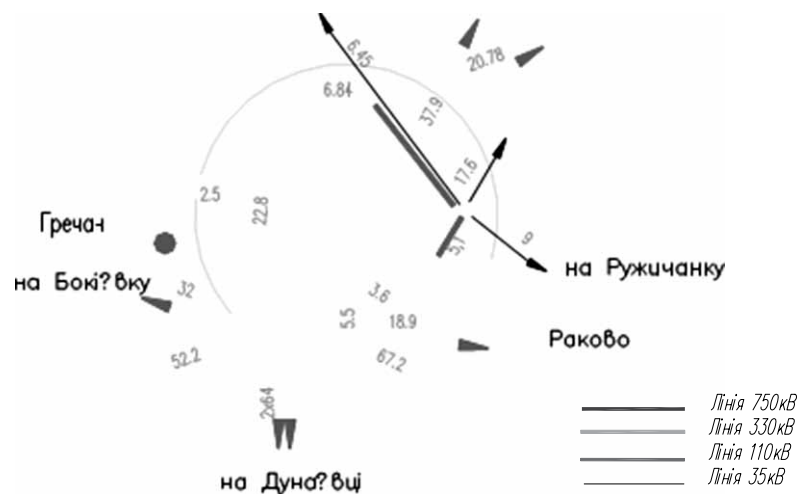


Рис. 1.10. Узагальнене зображення Хмельницького енерговузла

4. Кам'янець-Подільський енерговузол

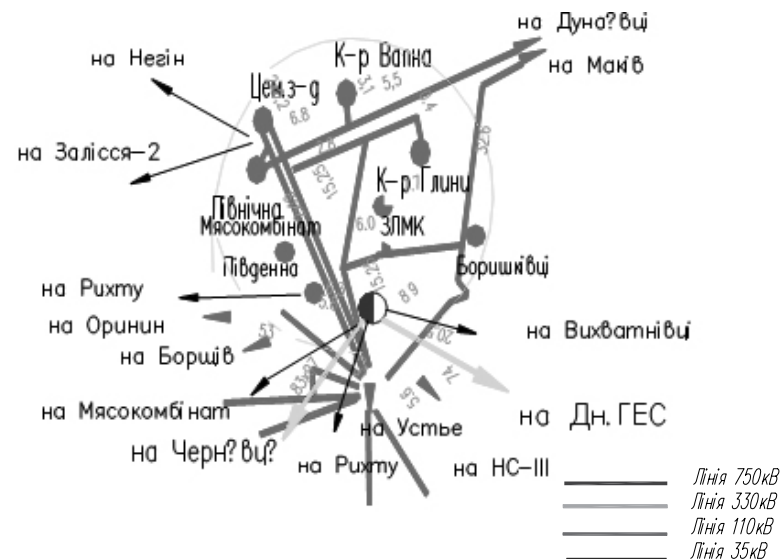


Рис. 1.11. Узагальнене зображення Кам'янець-Подільського енерговузла

5. Вінницький енерговузол

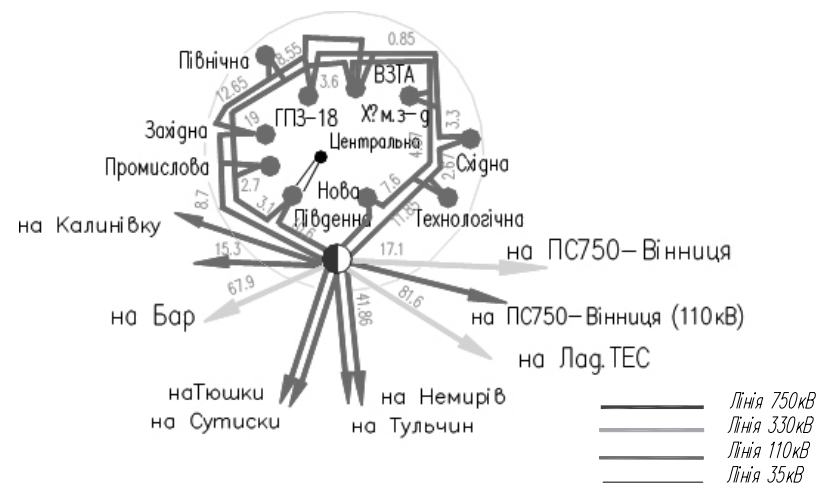


Рис. 1.12. Узагальнене зображення Вінницького енерговузла

Аналіз рис. 1.8–1.12 свідчить, що системоутворюючу мережу ПЗЕС формують ПЛ 330–750кВ, а розподільні мережі ПЗЕС сформовані ПЛ 110–35 кВ.

ПЛ 110 кВ ПЗЕС являються основними електричними зв'язками розподільних мереж в енергосистемі, а також виконують функції розподілу електроенергії, що підтверджується зображеною на рис. 1.13 загальною схемою розподілу ПЛ 750–35 кВ по ПЗЕС в 2014 р. Враховуючи це, доцільно акцентувати увагу на ПЛ 110 кВ при аналізі розподільних мереж ПЗЕС.

На рис. 1.14 представлено розрахункову схему нормального режиму роботи ПЗЕС за 2014 р. Вихідні дані для аналізу наведено в додатку А.

Аналізуючи (рис. 1.13, 1.14) та вихідні дані (додаток А) слідує, що системоутворюючі мережі ПЗЕС мають слабонеоднорідну структуру, а розподільні мережі — різконеоднорідну. Вплив неоднорідності мереж відображається на технологічних втратах активної потужності, що транспортується та розподіляється по системі в цілому.

В табл. 1.5 представлено розподіл технологічних втрат активної потужності (ΔP) по ПЗЕС та мережам, що її формують на 2014 р.

Таблиця 1.5

Розподіл технологічних втрат активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС та мережам, що її формують на 2014 р.

U, кВ	ΔP , МВт
110–750	48,273
110	5,247
330	34,953
750	8,073

Відносно величини потужності, що транспортується та розподіляється по ПЗЕС втрати активної потужності на 2014 р. становлять 3,92%.

Відносний розподіл втрат активної потужності по ПЗЕС на 2014 р. представлено в табл. 1.6.

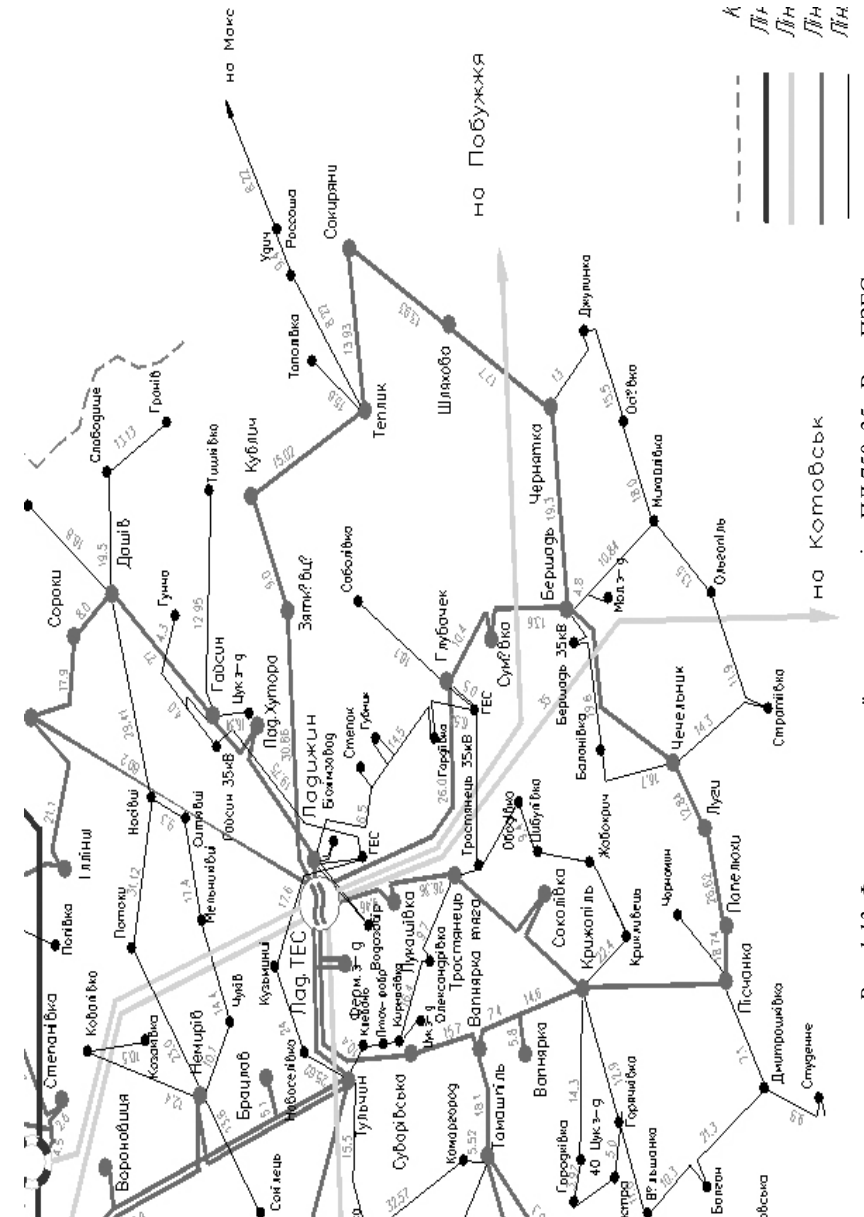


Рис. 1.13. Фрагмент загальної схеми розподілу ПЛ 750–35 кВ по ПЗЕС

Таблиця 1.6

Відносний розподіл втрат активної потужності (ΔP , %) по ПЗЕС

Системоутворююча мережа	
U , кВ	ΔP , %
750	0,7
330	2,82
330–750	3,52
Розподільна мережа	
U , кВ	ΔP , %
110	0,4
Міжмережеві втрати	
U , кВ	ΔP , %
330–110	3,22

Як слідує з табл. 1.5 і 1.6 найбільші втрати активної потужності по ПЗЕС в мережі 330 кВ, яка відноситься до системоутворюючої мережі й являється сполучною з розподільною мережею. Дані обставини й обумовлюють необхідність системного підходу в питаннях вдосконалення структури повітряних ліній, що дозволить змінити вплив неоднорідності мереж за рахунок оптимізації проводів ліній й відобразиться на втратах активної потужності при її транспортуванні та розподілі. Але реалізація даного завдання обтяжується тим, що ЕМ мають розгалужену структуру (рис. 1.13, 1.14) з динамічно змінюючимися параметрами в результаті чого знижується достовірність вихідних даних, що й призводить до неповноти інформації.

Таким чином, реалізація завдання по вдосконаленню структури ПЛ повинна базуватися на системному підході з застосуванням критеріального методу, який дозволяє провести комплексне дослідження при неповній інформації.

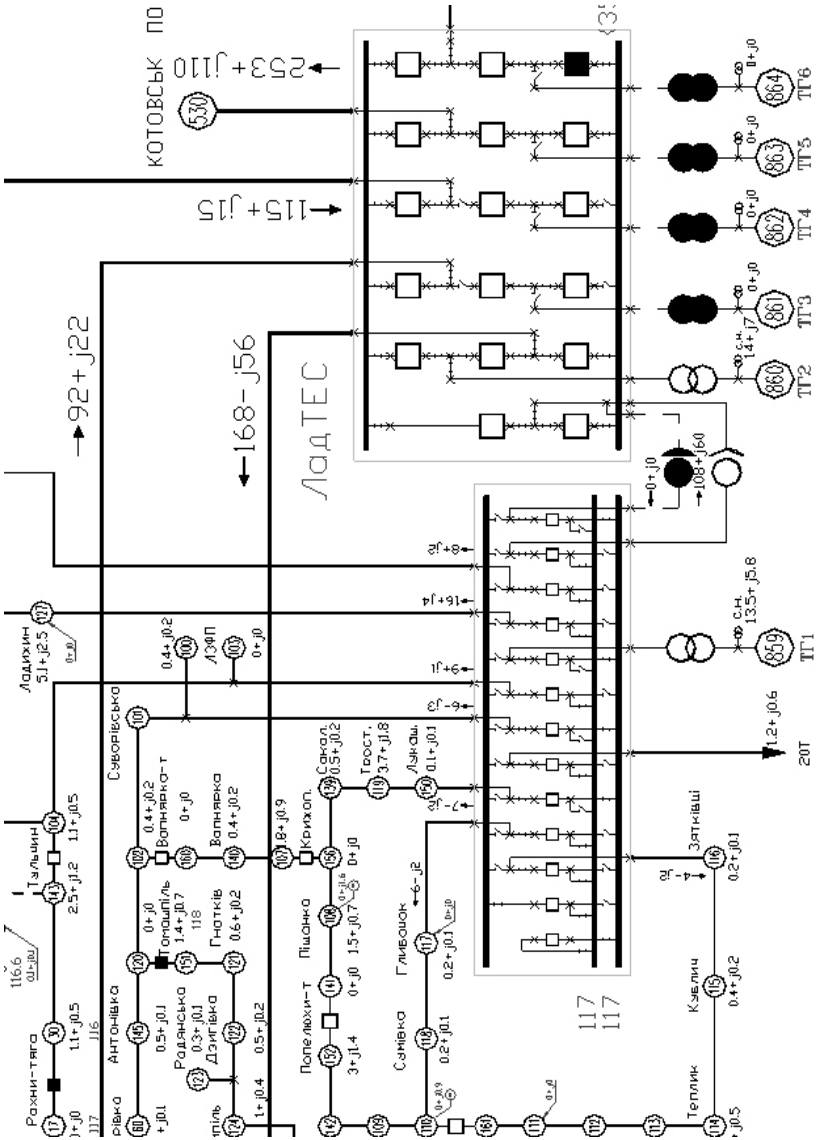


Рис. 1.14. Фрагмент розрахункової схеми нормального режиму роботи ПЗЕС

2. НОВІ ПІДХОДИ ФОРМУВАННЯ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

2.1. Формування критеріїв для аналізу техніко-економічних показників повітряних ліній в умовах неповноти вихідної інформації

Залежно від умов завдання вибирається критерій оптимальності. Якщо ставиться задача відшукування оптимальних техніко-економічних зв'язків, то одним з головних критеріїв є мінімум дисконтованих витрат:

$$B(x) \rightarrow \min, \quad x \in X.$$

У практиці побудови та реалізації техніко-економічних моделей не існує загальноприйнятої концепції. У кожному конкретному випадку побудова розрахункової моделі та метод її розв'язання тісно взаємопов'язані. Крім того, розв'язуючи загальну проблему оптимальності, необхідно враховувати характер вихідної інформації, достовірність якої буває низькою, що й призводить до неповноти інформації. Тому під час пошуку оптимальних зв'язків, які обґрунтовують раціональну структуру та формують параметричні ряди електромережевого обладнання, була проведена робота й отримані рекомендації з оптимізації шкали перерізів проводів [37, 41–47].

В основу обґрунтування раціональної структури ліній покладено твердження, що ПЛ мають економічні інтервали потужності тільки в тому разі, якщо виконується обмеження, яке забезпечує відмінність окремих варіантів за їхньою економічною ознакою [48].

Умови існування економічних інтервалів мають вигляд:

$$\frac{r_i}{r_{i+1}} > 1, \quad \frac{K_{i+1}}{K_i} > 1, \quad \frac{K_i - K_{i-1}}{K_{i+1} - K_i} < \frac{r_{i-1} - r_i}{r_i - r_{i+1}}, \quad (2.1)$$

де r_i — активний опір i -го проводу;

K_i — інвестиційні вкладення в i -ту лінію.

Вираз (2.1) відображає тільки технічну сторону й зумовлює необхідні умови існування економічних інтервалів потужності.

Оскільки ПЛ — це об'єкт техніко-економічного характеру, то необхідно виконання певних обмежень, які відображають економічні зв'язки об'єкта. До таких вимог належить умова розрізнення двох варіантів електропередавання, виконаних проводами різних перерізів.

Отже, якщо припустити, що існує економічний інтервал i -го перерізу, то повинна виконуватися умова рівноеконічності:

$$\frac{B_{\frac{i+1}{i}}}{B_{\frac{i}{i-1}}} \geq 1 + \varepsilon, \quad (2.2)$$

де B_i — дисконтовані витрати у ПЛ;

ε — допустима величина, яка визначає зону рівноеконічності.

Умова (2.2) є не тільки необхідною, а й достатньою для i -го проводу, невиконання якої суперечить умові існування економічного інтервалу потужності з позиції рівноеконічності для i -го перерізу (рис. 2.1) [48].

Враховуючи вище викладене, на рис. 2.1 в точці $\frac{P_{i+1}}{i}$ значення дисконтованих витрат збігаються із значеннями дисконтованих

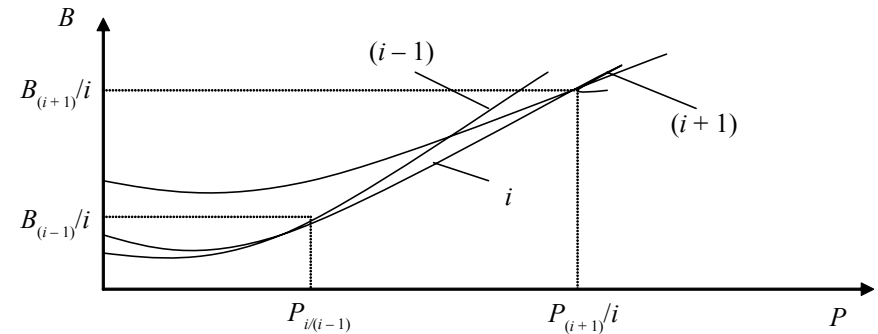


Рис. 2.1. Економічні інтервали потужності для перерізів проводів F_P, F_{i+1}, F_{i-1}

витрат ПЛ, яку виконану перетином $(i + 1)$ і правомірні наступні вирази:

$$\begin{aligned} B_{\frac{i+1}{i}} &= p \frac{K_{i+1}r_i - K_i r_{i+1}}{r_i - r_{i+1}}; \\ B_{\frac{i}{i-1}} &= p_{\text{л}} \frac{K_i r_{i-1} - K_{i-1} r_i}{r_{i-1} - r_i}. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Відношення виразів (2.3) є тотожно подібною величиною й має вигляд:

$$\frac{B_{\frac{i+1}{i}}}{B_{\frac{i}{i-1}}} = \frac{K_{i+1}r_i - K_i r_{i+1}}{K_i r_{i-1} - K_{i-1} r_i} \frac{r_{i-1} - r_i}{r_i - r_{i+1}} = \text{idem}. \quad (2.4)$$

Якщо вираз (2.4) використати в співвідношенні (2.1) і (2.2), то :

$$\frac{K_{i+1}r_i - K_i r_{i+1}}{K_i r_{i-1} - K_{i-1} r_i} \frac{r_{i-1} - r_i}{r_i - r_{i+1}} \geq 1 + \varepsilon \quad (2.5)$$

або

$$\frac{K_{i+1}r_i - K_i r_{i+1}}{K_i r_{i-1} - K_{i-1} r_i} \geq \frac{r_{i-1} - r_i}{r_i - r_{i+1}} (1 + \varepsilon). \quad (2.6)$$

Отриманий критерій відображає не лише технічну, але і економічну основу вдосконалення структури ПЛ.

Приведені вище міркування можуть бути використані при виборі методів обмежень на основі вже існуючої уніфікації ПЛ за конструкцією опор і фундаментів. При цьому слід пам'ятати, що задоволення критеріїв веде до найбільш правильного вирішення питання вдосконалення структури ПЛ.

Умова розрізняюваності двох варіантів ПЛ обумовлена границями рівноеконічності і в певній мірі залежить від шкали тих перерізів проводів якими виконані ці лінії. З іншого боку, якщо не враховувати обмеження по рівноеконічності, то два варіанти, що виконані суміжними перерізами проводів, будуть економічно рівноцінними, оскільки коефіцієнт наростання такої шкали не виправдано низький.

Також треба враховувати, що графічна модель (рис. 2.1) має гладкий безперервний характер, тому для подальшої розробки підходу оптимізації параметричного ряду доцільно враховувати дискретність шкали перерізів проводів, яка є незалежним критерієм побудови параметричного ряду котрий й формує основу вдосконалення структури ПЛ [37].

При вирішенні цього завдання доцільно керуватися системою ієрархічно побудованих і взаємозалежних техніко-економічних моделей різних функціональних рівнів при цьому реалізація завдання ускладнюється неповнотою вихідної інформації та багатокритеріальністю [41, 47].

Завдання техніко-економічного аналізу мають три складові:

- вибір критеріїв оптимальності;
- побудова математичної моделі;
- відшукування методу реалізації математичної моделі.

Побудова техніко-економічної моделі — це завдання, яке може бути сформульоване в термінах — мета, засоби і результат.

Формалізація мети зводиться до мінімізації деякої функції, в даному випадку мінімуму дисконтованих витрат, яка складається з безлічі усіх результатів і набуває дійсного значення. Ця функція носить назву функція мети.

Техніко-економічна модель є формальним описом складових її елементів: мети, засобів, а також зв'язку між засобами і результатами. Засоби і результати це множини, такі як:

- X — множина альтернатив;
- A — множина результатів.

Основні залежності результатів (A) від альтернатив (X) умовно підрозділяються на:

- кожна альтернатива призводить до єдиного результату, тобто є функціональною залежністю вихідних даних від альтернатив;
- кожна альтернатива може привести до безлічі результатів, кожен з яких має певну вірогідність появи;
- кожна альтернатива може привести до одного з декількох результатів (умова невизначеності). [30, 33, 34].

При побудові розрахункової техніко-економічної моделі практично не можливо врахувати всі її внутрішні, часто стохастич-

ні зв'язки, але, так як, інформація про такі зв'язки часом не повна і найчастіше невизначена, то формалізація завдання оптимальності вимагає врахування додаткових критеріїв [30].

Вищевикладене справедливо і для оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ з метою підвищення ефективності транспортування та розподілу електричної енергії, де за наявності головного критерію — мінімуму дисконтованих витрат, діють і інші додаткові критерії серед яких мінімум втрат активної потужності при транспортуванні та розподілу, зниження впливу електромагнітного поля на довкілля, скорочення площ відводу земельних ділянок під траси ПЛ.

При цьому одним з шляхів реалізації багатокритеріальних завдань є рішення за критерієм економічності і заміною додаткових критеріїв системою обмежень на змінні техніко-економічного функціоналу [41–47].

2.2. Розроблення та аналіз техніко-економічних моделей повітряних ліній в умовах неповноти інформації

У практиці побудови та реалізації математичних моделей не існує загальноприйнятої концепції. У кожному конкретному випадку, як відзначалося раніше, побудова математичної моделі і метод її вирішення тісно взаємопов'язані. Обґрунтування рішення подібного роду залежить від вживаного методу, математичного апарату, а також від характеру і точності опису об'єкту.

Для оптимізації елементів об'єктів ЕМ доцільно застосовувати два класи моделей.

До першого класу належать оціночні математичні моделі. Суть даних моделей виражається у можливості детального врахування індивідуальних особливостей конкретного об'єкту оптимізації, в простоті характеру зменшення параметрів об'єкта та їх функціонального зв'язку. Реалізація оціночних моделей можлива за допомогою алгоритмів та програмного розрахунку для визначеної кінцевої множини попередньо намічених рішень. Практика використання оціночних моделей показала їх достатню ефективність при розгля-

ді системи математичних моделей, що дозволяє в остаточному підсумку зробити принципові висновки [24].

Незважаючи на певні переваги оціночних моделей, вони мають ряд недоліків. Основним недоліком є можливість вибору не оптимального варіанту, тому що можливість оцінки порівнюваних варіантів досить низька для того щоб із заданою точністю вибрати найкраще рішення з усієї множини припустимих рішень. Тому оціночні моделі вимагають ретельного мотивування вибору можливих варіантів порівняння.

До другої категорії моделей, з точки зору розроблення і аналізу математичним апаратом, відносяться оптимізаційні моделі. В цьому випадку одна модель включає в себе опис усієї множини допустимих рішень. Можливості застосування таких моделей досить великі, але реалізація їх трудомістка і не завжди доступна, що служить певним поштовхом для автоматизації методів обчислення, що дозволяють з достатнім ступенем точності вирішити ці завдання.

Принцип побудови і реалізації техніко-економічної моделі передбачає спільне використання оціночних та оптимізаційних моделей. Для цього за допомогою оптимізаційної моделі вибираються варіанти, що лежать поблизу оптимального рішення. Після чого, за допомогою оціночної моделі йде пошук оптимального варіанту з попередньо намічених рішень [49, 50].

При вирішенні загальної проблеми оптимальності необхідно враховувати характер вихідної інформації, яка може бути детермінованою, стохастичною або адаптивною [51, 52]. Всі види інформації в тій чи іншій мірі використовуються в різних завданнях.

Детермінований підхід у вирішенні задачі дозволяє знайти оптимальне рішення досить просто. При стохастичному підході до вирішення завдання деяка частина вихідної інформації зберігає детермінований характер, а друга її частина замінюється статистичними характеристиками. Зі збільшенням часу знижується достовірність отриманої інформації, що й призводить до неповноти інформації. У цьому випадку застосовується адаптивний підхід [12, 53].

2.2.1. Техніко-економічні моделі повітряних ліній системоутворюючих мереж

Виходячи з вищевикладеного, техніко-економічну модель дисконтованих витрат (B) в 1 км ПЛ системоутворюючих електричних мереж можна представити як

$$B_i = B_1 + B_2 = (E + p) K_i + (\tau \mu P^2 F^{-1} U^{-2} l \cos^2 \phi K_k), \quad (2.7)$$

де B_1 – інвестиційні вкладення в 1 км ПЛ системоутворюючих мереж;

B_2 – експлуатаційні витрати на обслуговування ПЛ системоутворюючих мереж;

E – реальна процентна ставка визначається як

$$E = [(E_{\text{ном}} + 100)/(i + 100) - 1] \cdot 100, \quad (2.8)$$

де $E_{\text{ном}}$ – номінальна процентна ставка (%);

i – темп інфляції;

$p_{\text{л}}$ – коефіцієнт відрахувань, який складається з суми:

$$p_{\text{л}} = p_{\text{а}} + p_{\text{рем і обл}}, \quad (2.9)$$

де $p_{\text{а}}$ – коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$p_{\text{рем і обл}}$ – коефіцієнт відрахувань на ремонт та обслуговування ПЛ системоутворюючих мереж;

K_i – вартість 1 км відповідної ПЛ системоутворюючої мережі, яка складається:

$$K_i = a + vF, \quad (2.10)$$

де a – постійна складова вартості, яка не залежить від перерізу проводу ПЛ системоутворюючих мереж, г. о/км;

v – коефіцієнт здорожчання, який враховує зміну вартості спорудження 1 км ПЛ системоутворюючих мереж залежно від перерізу проводу г. о / (км мм²);

F – переріз проводу ПЛ системоутворюючих мереж, мм²;

τ – час максимальних втрат, год, визначається як

$$\tau = (0,124 + T_{\text{max}}/10^4)^2 8760, \quad (2.11)$$

де T_{max} – максимальний час використання, год;

μ – питома вартість втрат електроенергії, г.о / (кВт год);

ρ – питомий опір провідникового матеріалу, Ом мм²/км;

P – максимальна потужність ПЛ системоутворюючої мережі, МВт;

U – напруга ПЛ системоутворюючої мережі, кВ;

l – довжина ПЛ системоутворюючої мережі, км;

$\cos \phi$ – коефіцієнт потужності ПЛ системоутворюючих мереж;

K_k – коефіцієнт втрат на корону ПЛ системоутворюючих мереж, який складається з

$$K_k = (\tau + K_r), \quad (2.12)$$

де K_r – показник втрат на корону, для $\tau = 1000 \div 7000$ (год/рік)

$K_r = 0,05 \div 0,15$.

Вартість 1 км ПЛ системоутворюючих мереж, що входить в техніко-економічну модель дисконтованих витрат (2.7) описується лінійним двочленом (2.10). На певному етапі математичного програмування такий запис було виправдано. Але апроксимація лінійним двочленом припускає наявність постійної складової в математичній моделі ПЛ. Залежно від поставленого завдання доля участі постійної складової функції мети (2.7) може бути різною. У деяких завданнях вона складає всього декілька відсотків від загального значення функції, прийнятої за 100 %, а більша частина доводиться на змінну частину. У цілому ряді завдань вона може складати більшу частину функції мети, тоді оптимізація тільки змінною складовою не виправдовує себе.

Таким чином, для коректної постановки задачі і проведення її техніко-економічного аналізу, доцільно вдосконалити існуючі техніко-економічні моделі ПЛ моделями, які не містять постійної складової в явному вигляді.

Один із шляхів розроблення техніко-економічних моделей є заміна частини моделі апроксимованим виразом з достатньою мірою точності, причому до цієї частини моделі входить і постійна складова. Апроксимація, як окремих складових, так і цілих виразів, що входять у функцію, виконується на множині $X = (x_i; x_j, x_{\min} \leq x_j \leq x_{\max})$, яка є областю визначення початкової функції. Сукупність дійсних точок (x) в заданій множині можна замінити сукупністю точок, що лежать на прямій, але це не влаштовує з міркувань появи постійної складової. Тому сукупність дійсних точок (x) в заданій множині до-

цільніше замінити сукупністю точок, що лежать на кривій, яка має постійну складову в неявному виді на цій множині [30, 34].

Отже, для розроблення техніко-економічної моделі ПЛ системоутворюючих мереж складову моделі K_i (2.10) доцільно замінити нелінійним апроксимуючим виразом:

$$K_i = a_i F^{e_i}, \quad (2.13)$$

де a_i — коефіцієнт апроксимації, що залежить від типу опор, конструкції ПЛ, класу напруги;

F — переріз проводу ПЛ системоутворюючої мережі, змінна величина, мм²;

e_i — показник апроксимованого виразу, отриманий з певною мірою точності методом найменших квадратів.

При визначенні коефіцієнтів a_i і e_i в виразі (2.13) були використані показники вартості ПЛ 330–750 кВ [15, 19] та методика розрахунку [17, 18].

Для оптимізації математичної моделі (2.13) за перерізом проводу значення показника ступеня e_i усереднюється і замінюється значенням показника ступеня \tilde{e} для класів напруги системоутворюючої мережі та визначається сукупністю значень \tilde{e}_v , що належать своєму класу напруги (табл. 2.1).

Таблиця 2.1

Усереднене значення показника ступеня \tilde{e}_v для ПЛ 330–750 кВ

U кВ	330 кВ	750 кВ
\tilde{e}_v	0,37	0,26

В відповідності з отриманим значенням коефіцієнтів \tilde{e}_v для варіантів ПЛ системоутворюючих мереж і типу опор були перераховані коефіцієнти a_i таким чином, щоб середня відносна похибка по варіанту була як найменша.

Розрахунок коефіцієнтів a_i і \tilde{e}_v було проведено з використанням прикладної програми ПЕОМ Mathcad [54] і представлено в додатку Б.

Значення показників ступеня \tilde{e}_v (додаток Б) були отримані без врахування вірогідності появи ПЛ системоутворюючої мережі

представленого конструктивного виконання, класу напруги і типу опор. Таке допущення себе оправдовує, тим що на цьому етапі перше немає таких статистичних даних, а по-друге, це не входило в завдання побудови математичної моделі ПЛ з певною мірою точності. Для точнішого визначення значень \tilde{e}_v потрібний поглиблений аналіз нормативних показників з урахуванням частини участі значення показників ступеня, відповідного розрахунковому варіанту по конструктивному виконанню ПЛ системоутворюючої мережі, типу опор і класу напруги.

Для розробленої техніко-економічної моделі ПЛ системоутворюючих мереж була проведена оцінка достовірності апроксимацій і в табл. 2.2 наведено середні значення похибки апроксимації в 1 км. ПЛ системоутворюючої мережі.

Таблиця 2.2

Середні значення похибки апроксимації техніко-економічної моделі ПЛ 330–750 кВ

Вид апроксимації	Середня похибка апроксимації, %	
$a_i F^{\tilde{e}_v}$	330 кВ	750 кВ
	2,25	2,0

Для аналізу техніко-економічних показників ПЛ системоутворюючих мереж в умовах енергоринку техніко-економічна модель (2.7) представляється залежно від класу напруги системоутворюючої мережі:

$$B = B_1 + B_2 = (A - 1) \left(1 + [A^{\tilde{e}_{\text{кл}}} - 1]^{-1} \right) a_i F^{\tilde{e}_{330}} + ; \quad (2.14)$$

$$+ (\tau \mu \rho P^2 F^{-1} U^{-2} l \cos^{-2} \phi K_k)$$

$$B = B_1 + B_2 = (A - 1) \left(1 + [A^{\tilde{e}_{\text{кл}}} - 1]^{-1} \right) a_i F^{\tilde{e}_{750}} + , \quad (2.15)$$

$$+ (\tau \mu \rho P^2 F^{-1} U^{-2} l \cos^{-2} \phi K_k)$$

де

$$A = \frac{E_{\text{ном}} + 100}{\alpha + 100}, \quad (2.16)$$

$E_{\text{ном}}$ — номінальна банківська ставка, %;

α — темп інфляції;

$T_{\text{сд}}$ — нормативний термін служби об'єкту, рік;

a_i — значення коефіцієнта апроксимації ПЛ відповідного класу напруги системоутворюючої мережі;

$\tilde{\epsilon}$ — усереднене значення показника ступеня ПЛ відповідного класу напруги системоутворюючої мережі, яке представлено в табл. 2.1.

Розроблені моделі дисконтованих витрат в залежності від класу напруги (2.14–2.16) мають наближений характер, який залежить від заданого ступеня точності моделі, оскільки вартість ПЛ (2.10), що входить в техніко-економічну модель (2.7) замінили апроксимуючою кривою (2.13), а потім її скоригували.

Графічне відображення інвестиційних вкладень (B_1) вдосконалених техніко-економічних моделей ПЛ 330–750 кВ представлено на рис. 2.2 і 2.3.

Розроблені техніко-економічні моделі ПЛ системоутворюючих мереж (2.13–2.14) доцільно проаналізувати для визначення участі складових моделей в умовах енергоринку при неповній вихідній інформації.

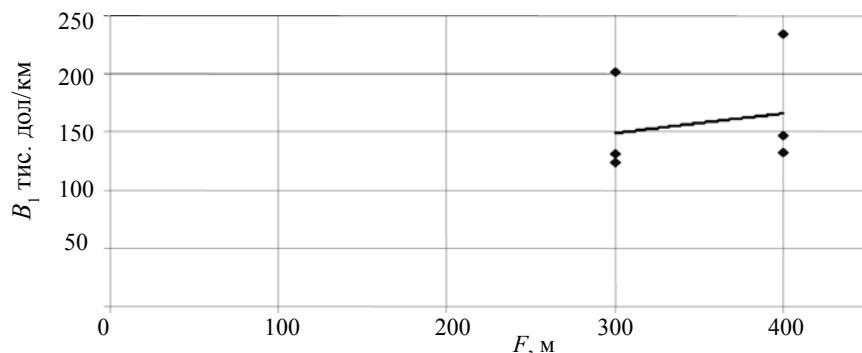


Рис. 2.2. Узагальнена модель інвестиційних вкладень у ПЛ 330 кВ

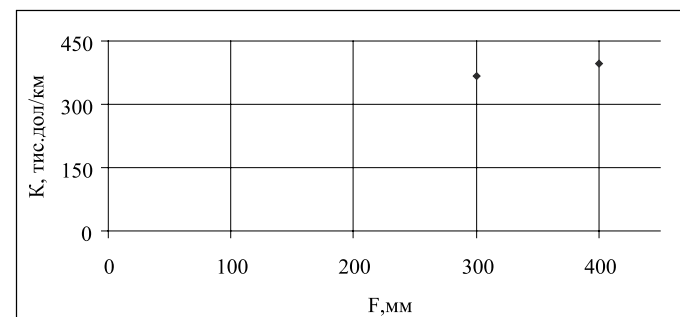


Рис. 2.3. Узагальнена модель інвестиційних вкладень у ПЛ 750 кВ

В умовах неповноти інформації при аналізі електромережних об'єктів, в тому числі й ПЛ, необхідно використовувати узагальнюючі методи, що базуються на основі теорії подібності, математичного програмування і моделювання. До одного з таких напрямків відноситься і критеріальний метод, розроблені алгоритми якого дозволяють кількісно описати оптимальні техніко-економічні зв'язки об'єкту як при відомій, так і неповній інформації.

Розроблені техніко-економічні моделі ПЛ системоутворюючих мереж (2.13–2.14), основна відмінність яких полягає в зміні аналітичному зв'язку інвестиційних вкладень у ПЛ з перерізом проводів, представляють собою суму доданків в загальний вираз яких входить як постійна складова так і змінна.

В якості інструмента дослідження таких моделей обирається критеріальний метод [12, 30, 33, 34].

Виходячи з вище викладеного техніко-економічні моделі ПЛ системоутворюючих мереж (2.13–2.14) представляються для відповідного класу напруги в критеріальній формі [30, 33, 34]:

$$B_*^{330} = \pi_1'' F_*^{\tilde{\epsilon}_{330}} + \pi_2'' F_*^{-1}; \quad (2.17)$$

$$B_*^{750} = \pi_1''' F_*^{\tilde{\epsilon}_{750}} + \pi_2''' F_*^{-1}, \quad (2.18)$$

де π_1'' , π_2'' , π_1''' , π_2''' — критерій подібності для певного класу напруги ПЛ системоутворюючої мережі;

$\tilde{\epsilon}^{330}$, $\tilde{\epsilon}^{750}$ — узагальнені коефіцієнти апроксимації певного класу напруги ПЛ системоутворюючої мережі;

F — переріз проводу відповідно до класу напруги ПЛ системоутворюючої мережі, відн. од.

Реалізуючи кожне рівняння критеріальним методом проводиться аналіз техніко-економічних моделей ПЛ системоутворюючих мереж для визначення співвідношення в оптимальному варіанті для вдосконалення структури ПЛ системоутворюючої мережі у відповідному класі напруги.

$$\pi_1'' = \frac{1}{1+b_i}; \pi_2'' = \frac{\bar{b}}{1+\bar{b}_i}; \pi_1''' = \frac{1}{1+\bar{b}_i}; \pi_2''' = \frac{\bar{b}}{1+\bar{b}_i}.$$

Результати розрахунків представлені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Результати розрахунку співвідношення складових техніко-економічних моделей ПЛ 330–750 кВ в оптимальному варіанті для вдосконалення структури ПЛ системоутворюючих мереж

Напруга, кВ	Співвідношення складових
330	$\pi_1'' = 0,73, \pi_2'' = 0,27$
750	$\pi_1''' = 0,79, \pi_2''' = 0,21$

На рис. 2.4 представлено залежність складових (π_1'', π_1''') техніко-економічних моделей ПЛ системоутворюючих мереж відносно напруги ($U_{\text{ном}}$).

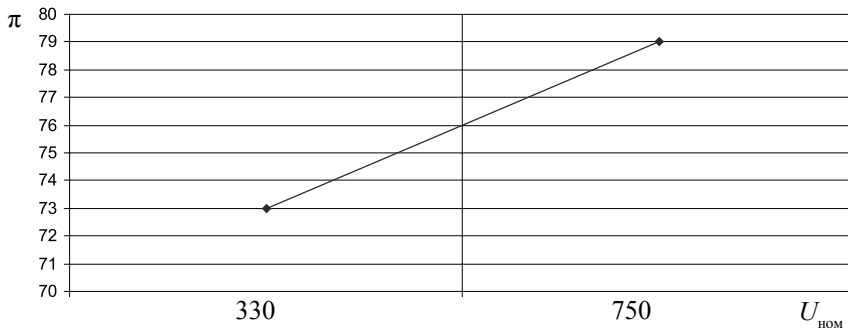


Рис. 2.4. Залежність складових (π_1'', π_1''') техніко-економічних моделей ПЛ 330–750 кВ відносно напруги ($U_{\text{ном}}$)

2.2.2. Техніко-економічні моделі повітряних ліній розподільних мереж

Техніко-економічну модель дисконтованих витрат (B) в 1 км ПЛ розподільних електричних мереж можна представити як

$$B_i = B_1 + B_2 = (E + p)K_i + (\tau \mu P^2 F^{-1} U^{-2} l \cos^2 \phi), \quad (2.19)$$

де B_1 — інвестиційні вкладення в 1 км. ПЛ розподільних мереж;
 B_2 — експлуатаційні витрати на обслуговування ПЛ розподільних мереж;
 E — реальна процентна ставка визначається як

$$E = [(E_{\text{ном}} + 100)/(i + 100) - 1] \cdot 100, \quad (2.20)$$

де $E_{\text{ном}}$ — номінальна процентна ставка (%);

i — темп інфляції;

$p_{\text{л}}$ — коефіцієнт відрахувань, який складається з суми:

$$p_{\text{л}} = p_{\text{а}} + p_{\text{рем і обсл}}, \quad (2.21)$$

де $p_{\text{а}}$ — коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$p_{\text{рем і обсл}}$ — коефіцієнт відрахувань на ремонт та обслуговування ПЛ розподільної мережі;

K_i — вартість 1 км. ПЛ розподільної мережі, яка складається:

$$K_i = a + vF, \quad (2.22)$$

де a — постійна складова вартості, яка не залежить від перерізу проводу ПЛ розподільної мережі, г.о/км;

v — коефіцієнт здорожчання, який враховує зміну вартості спорудження 1 км ПЛ розподільної мережі в залежності від перерізу проводу г.о / (км мм²);

F — переріз проводу ПЛ РЕМ, мм²;

τ — час максимальних витрат, год, визначається як

$$\tau = (0,124 + T_{\text{max}}/10^4)^2 8760, \quad (2.23)$$

де T_{max} — максимальний час використання, год;

μ — питома вартість витрат електроенергії, г.о / (кВт год);

ρ — питомий опір провідникового матеріалу, Ом мм²/км;

P — максимальна потужність ПЛ розподільних мереж, МВт;

U — напруга ПЛ розподільної мережі, кВ;

l — довжина ПЛ розподільної мережі, км;

$\cos \phi$ — коефіцієнт потужності ПЛ розподільних мереж.

Виходячи з вищевикладеного, складова, що входить в техніко-економічну модель дисконтованих витрат (2.19) описується лінійним двочленом (2.22). На певному етапі математичного програмування такий запис було виправдано. Але апроксимація лінійним двочленом припускає наявність постійної складової в техніко-економічній моделі ПЛ. Залежно від поставленого завдання доля участі постійної складової функції мети (2.23) може бути різною. У деяких завданнях вона складає всього декілька відсотків від загального значення функції, прийнятої за 100 %, а більша частина доводиться на змінну частину. У цілому ряді завдань вона може складати більшу частину функції мети, тоді оптимізація тільки змінною складовою не виправдовує себе.

Таким чином, для коректної постановки задачі і проведення її техніко-економічного аналізу, доцільно замінити існуючі моделі ПЛ моделями, які не містять постійної складової в явному вигляді. Одним зі шляхів вдосконалення техніко-економічних моделей ПЛ розподільних мереж є заміна частини моделі апроксимованим виразом з достатньою мірою точності, причому до цієї частини моделі повинна увійти і постійна складова. Апроксимація як окремих складових так і цілих виразів виконується на множині $X = (x_i; x_j, x_{\min} \leq x_j \leq x_{\max})$, яка є областю визначення початкової функції. Сукупність дійсних точок (x) в заданій множині можна замінити сукупністю точок, що лежать на прямій, але це не влаштовує з міркувань появи постійної складової. Тому сукупність дійсних точок (x) в заданій множині доцільніше замінити сукупністю точок, що лежать на кривій, яка має постійну складову в неявному виді на цій множині [30, 34].

Отже, для розроблення техніко-економічної моделі ПЛ розподільних мереж (2.22) складову моделі K_i (2.23) доцільно замінити нелінійним апроксимуючим виразом:

$$K_i = a_i F^{e_i}, \quad (2.24)$$

де a_i — коефіцієнт апроксимації, що залежить від типу опор, конструкції лінії, класу напруги;

F — переріз, змінна величина, мм²;

e_i — показник апроксимованого виразу, отриманий з певною мірою точності методом найменших квадратів.

При визначенні коефіцієнтів a_i і e_i в виразі (2.24) були використані показники вартості ПЛ 35–110 кВ [15, 19] та методика розрахунку [17, 18].

Для оптимізації математичної моделі (2.24) за перерізом проводу значення показника ступеня e_i усереднюється і замінюється значенням показника ступеня \tilde{e}_v для класів напруги розподільних мереж та визначається сукупністю значень \tilde{e}_v , що належать своєму класу напруги (табл. 2.4).

Таблиця 2.4

Усереднене значення показника ступеня \tilde{e}_v для ПЛ 35–110 кВ

U кВ	35 кВ	110 кВ
\tilde{e}_v	0,17	0,24

В відповідності з отриманим значенням коефіцієнтів \tilde{e}_v для варіантів ПЛ розподільних мереж і типу опор були перераховані коефіцієнти a_i таким чином, щоб середня відносна похибка по варіанту була як найменша.

Розрахунок коефіцієнтів a_i і \tilde{e}_v було проведено з використанням прикладної програми ПЕОМ Mathcad [54] і представлено в додатку Б.

Значення показників ступеня \tilde{e}_v (додаток Б) були отримані без врахування вірогідності появи ПЛ розподільних мереж представленого конструктивного виконання, класу напруги і типу опор. Таке допущення себе оправдовує, тим що на цьому етапі по-перше немає таких статистичних даних, а по-друге, це не входило в завдання побудови математичної моделі ПЛ з певною мірою точності. Для точнішого визначення значень \tilde{e}_v потрібен поглиблений аналіз нормативних показників з урахуванням частини участі значення показників ступеня, відповідного розрахунковому варіанту по конструктивному виконанню ПЛ розподільних мереж, типу опор і класу напруги.

Для розробленої техніко-економічної моделі ПЛ розподільних мереж (2.19) була проведена оцінка достовірності апроксимацій і в табл. 2.5 наведено середні значення похибки апроксимації в 1 км ПЛ розподільних мереж.

Таблиця 2.5

Середні значення похибки апроксимації техніко-економічної моделі
ПЛ розподільних мереж.

Вид апроксимації	Середня похибка апроксимації, %	
$a_i F^{\tilde{\delta}_i}$	35 кВ	110 кВ
	2,93	1,5

Розрахунок коефіцієнтів a_i і $\tilde{\delta}_i$ отриманої розрахункової моделі (2.24) було проведено з використанням прикладної математичної програми ПЕОМ Mathcad і представлено в додатку Б.

Для визначення коефіцієнтів a_i і $\tilde{\delta}_i$ в виразі (2.24) були використані показники вартості ПЛ 35–110 кВ [15, 19] та методика розрахунку [17,18].

Для аналізу техніко-економічних показників ПЛ розподільних мереж в умовах енергоринку техніко-економічна модель (2.19) представляється залежно від класу напруги розподільної мережі:

$$B = B_1 + B_2 = (A - 1) \left(1 + [A^{\tilde{\delta}_{\text{сл}}} - 1]^{-1} \right) a_i F^{\tilde{\delta}_i} + (\tau \mu \rho P^2 F^{-1} U^{-2} l \cos^{-2} \phi); \quad (2.25)$$

$$B = B_1 + B_2 = (A - 1) \left(1 + [A^{\tilde{\delta}_{\text{сл}}} - 1]^{-1} \right) a_i F^{\tilde{\delta}_i} + (\tau \mu \rho P^2 F^{-1} U^{-2} l \cos^{-2} \phi), \quad (2.26)$$

$$\text{де} \quad A = \frac{E_{\text{ном}} + 100}{\alpha + 100}, \quad (2.27)$$

$E_{\text{ном}}$ — номінальна банківська ставка, %;

α — темп інфляції;

$T_{\text{сл}}$ — нормативний термін служби об'єкту, рік;

a_i — значення коефіцієнта апроксимації ПЛ відповідного класу напруги розподільної мережі;

$\tilde{\delta}$ — усереднене значення показника ступеня ПЛ відповідного класу напруги розподільної мережі, яке представлено в табл. 2.4.

Розроблені моделі дисконтованих витрат в залежності від класу напруги (2.25–2.27) мають наближений характер, який залежить від заданого ступеня точності моделі, оскільки вартість ПЛ (2.22), що входить в техніко-економічну модель (2.19) замінили апроксимуючою кривою (2.24), а потім її скоригували.

Графічне відображення інвестиційних вкладень (B_i) вдосконалених техніко-економічних моделей ПЛ розподільних ЕМ представлено на рис. 2.5–2.6.

Таким чином, представлені наукові дослідження дозволили вдосконалити техніко-економічні моделі ПЛ розподільних мереж (2.25–2.27) за рахунок зміни аналітичного зв'язку інвестиційних вкладень з перерізом проводу.

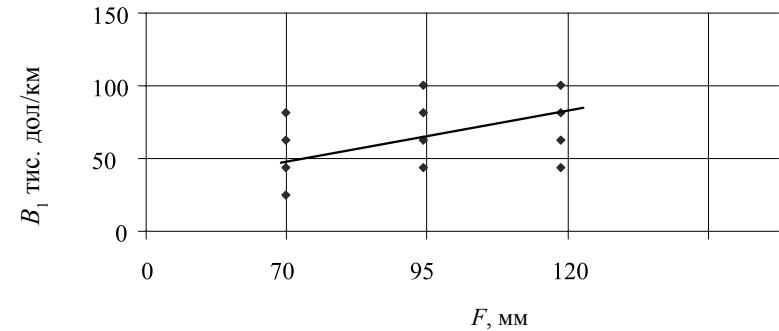


Рис. 2.5. Узагальнена модель інвестиційних вкладень у ПЛ 35 кВ

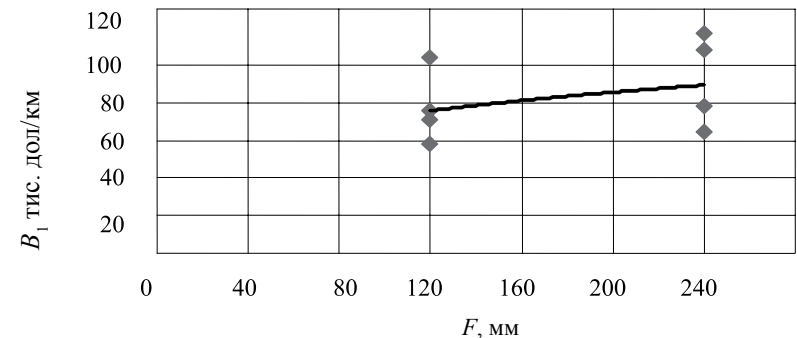


Рис. 2.6. Узагальнена модель інвестиційних вкладень у ПЛ 110 кВ

Розроблені техніко-економічні моделі ПЛ розподільних ЕМ (2.25–2.27) доцільно проаналізувати для визначення участі складових моделей в умовах ринку електроенергії при неповній вихідній інформації.

В умовах неповноти вихідної інформації при аналізі електромережних об'єктів, в тому числі й ПЛ, необхідно використовувати узагальнюючі методи, що базуються на основі теорії подібності, математичного програмування і моделювання. До одного з таких напрямків відноситься і критеріальний метод, розроблені алгоритми якого дозволяють кількісно описати оптимальні техніко-економічні зв'язки об'єкту як при відомій, так і неповній вихідній інформації

Розроблені техніко-економічні моделі ПЛ розподільних ЕМ (2.25–2.27) представляють собою суму доданків в загальний вираз яких входить як постійна складова так і змінна.

В якості інструмента дослідження таких моделей обирається критеріальний метод [30, 33, 34].

Виходячи з вище викладеного техніко-економічні моделі ПЛ розподільних мереж (2.25–2.27) представляються для відповідного класу напруги в критеріальній формі [30, 34]:

$$B_*^{35} = \pi_1 F_*^{\tilde{g}^{35}} + \pi_2 F_*^{-1}; \quad (2.28)$$

$$B_*^{110} = \pi'_1 F_*^{\tilde{g}^{110}} + \pi'_2 F_*^{-1}; \quad (2.29)$$

де $\pi_1, \pi_2, \pi'_1, \pi'_2$, — критерій подібності для певного класу напруги ПЛ розподільної мережі;

$\tilde{g}^{35}, \tilde{g}^{110}$ — узагальнені коефіцієнти апроксимації певного класу напруги ПЛ розподільної мережі;

F_* — переріз проводу відповідно до класу напруги ПЛ розподільної мережі, відн.од.

Реалізуючи кожне рівняння критеріальним методом проводиться аналіз техніко-економічних моделей ПЛ розподільних мереж для визначення співвідношення в оптимальному варіанті для вдосконалення структури ПЛ розподільної мережі відповідного класу напруги

$$\pi_1 = \frac{1}{1 + \bar{b}_i}; \pi_2'' = \frac{\bar{b}}{1 + \bar{b}_i}; \pi_2' = \frac{1}{1 + \bar{b}_i}; \pi_2' = \frac{\bar{b}}{1 + \bar{b}_i}.$$

Результати розрахунків представлені в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Результати розрахунку співвідношення складових техніко-економічних моделей ПЛ 35–110 кВ в оптимальному варіанті для вдосконалення структури ПЛ розподільних мереж

Напруга, кВ	співвідношення складових
35	$\pi_1 = 0,82, \pi_2 = 0,18$
110	$\pi'_1 = 0,80, \pi'_2 = 0,20$

На рис. 2.7 представлено залежність складових (π_1, π'_1) техніко-економічних моделей ПЛ розподільних мереж відносно напруги ($U_{\text{ном}}$).

В ході аналізу техніко-економічної моделі ПЛ 35 кВ було виявлено, що інвестиції в дані лінії більші в порівнянні з інвестиціями в ПЛ 110 кВ (рис. 2.7) при наявності однакової конструктивної частини (тип опор, довжина прольотів і т. п.), але різної пропускної здатності ПЛ. Збільшення інвестицій в ПЛ 35 кВ відбулося за раху-

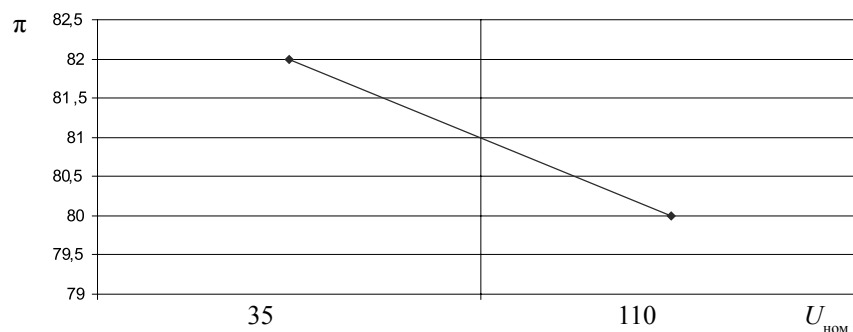


Рис. 2.7. Залежність складових (π_1, π'_1) техніко-економічних моделей ПЛ 35–110 кВ відносно напруги ($U_{\text{ном}}$)

нок збільшення часткової участі вартості площі відводу території під трасу ліній в загальній вартості ПЛ при меншій потужності, що можливо передати лініями цього класу.

Результати даного дослідження не суперечать існуючому на сьогодні напрямку вводу в експлуатацію електричних мереж напруженою 20 кВ, оскільки буде можливо виконати економічно оптимальний перерозподіл потужності в розподільній мережі.

2.3. Розрахунок коефіцієнту формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів повітряних ліній в умовах неповноти інформації

Відомо, що переріз проводів є одним з основних елементів ПЛ, який вибирається при проектуванні і впливає на пропускну здатність ЕЕС й технологічні втрати потужності та електроенергії при її транспортуванні та розподілу, що відображається на регламенті реконструкції об'єкта, яка проводиться в наслідок зміни темпів навантаження. Тому в якості основного параметра оптимізації пропонується переріз проводів і вводиться припущення що розподіл навантаження по площі рівномірний.

Для вирішення цього завдання була сформована структурна модель пошуку раціональної структури вдосконалення ПЛ в умовах неповноти інформації, яку представлено на рис. 2.8 [45].

Представлена на рис. 2.8 структурна модель складається з 2 рівнів:

- на 1 рівні дослідження зводяться до редукції одноцільової задачі, що дозволить сформулювати критерій оптимального параметричного ряду перерізів проводів відносно однієї змінної (перерізу проводу);
- 2 рівень дозволить з позицій системного підходу визначити і обґрунтувати один з напрямків вдосконалення структури ПЛ, а саме уніфікацію ліній.

Враховуючи вищевикладене, доцільно використати критеріальний метод, який дозволить уникнути неповноти вихідної інформації при знаходженні коефіцієнта формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів.

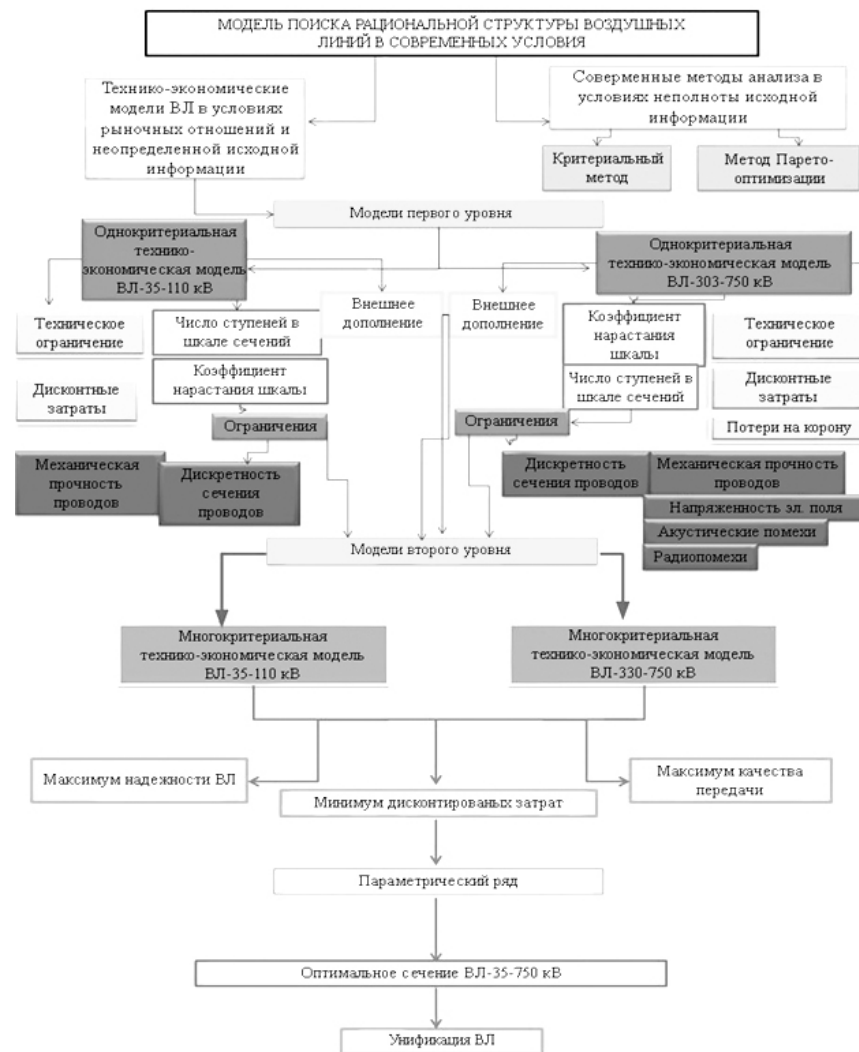


Рис. 2.8. Структурна модель пошуку раціональної структури вдосконалення ПЛ при неповноті інформації

З метою оптимізації техніко-економічних моделей ПЛ системоутворюючих та розподільних мереж (2.14–2.16; 2.25–2.27) за рахунок перерізу проводу із сукупності коефіцієнтів (табл. 2.1 та табл. 2.4) визначено середній за формулою:

$$\tilde{\varepsilon} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \tilde{\varepsilon}_i, \quad (2.30)$$

де N — кількість коефіцієнтів (табл. 2.1 та табл. 2.4);
 $\tilde{\varepsilon}_i$ — значення коефіцієнтів (табл. 2.1 та табл. 2.4).

Розрахунок по формулі (2.30) показав, що значення $\tilde{\varepsilon} = 0,245 \approx 0,25$.

Згідно з розрахунком $\tilde{\varepsilon}$ були перераховані коефіцієнти a'_i таким чином, щоб середня відносна похибка по кожному варіанту була як найменша.

Таким чином, розроблені техніко-економічні моделі ПЛ системоутворюючих та розподільних мереж (2.14–2.16; 2.25–2.27) записуються в узагальненому вигляді як:

$$B = B_1 + B_2 = (A - 1) \left(1 + [A^{T_{ca}} - 1]^{-1} \right) a'_i F^{\tilde{\varepsilon}} + (\tau \mu r P^2 F^{-1} U^{-2} l \cos^{-2} \phi K_k). \quad (2.31)$$

Техніко-економічна модель (2.31) дозволяє оцінити ПЛ відносно однієї змінної, а саме перерізу проводу й має наближений характер, який залежить від заданої точності моделі оскільки сукупність дійсних точок, які зумовлюють вартість ПЛ, замінили апроксимуючою кривою $a_i F^{\varepsilon_i}$, а потім скорегували кривою вигляду $a'_i F^{\tilde{\varepsilon}}$.

Для отриманої узагальненої техніко-економічної моделі ПЛ (2.31) була проведена оцінка достовірності апроксимацій функції. Результати розрахунку представлені в табл. 2.7.

Таблиця 2.7

Середні значення похибки апроксимації узагальненої техніко-економічної моделі ПЛ

Вид апроксимації	Середня похибка апроксимації, %			
	35 кВ	110 кВ	330 кВ	750 кВ
$a_i F^{\varepsilon_i}$	3,9	4,1	4,25	5,0

При певній похибці (табл. 2.7) модель (2.31) можна представити однією загальною моделлю в критеріальній формі:

$$B_* = \pi_1 F_*^{\tilde{\varepsilon}} + \pi_2 F_*^{-1}. \quad (2.32)$$

Використовуючи методику критеріального аналізу [30, 33, 34] модель (2.3.3) записуємо у вигляді:

$$B_* = A_1 F_*^{0,25} + A_2 F_*^{-1}, \quad (2.33)$$

$$\text{де } A_1 = A = \frac{E_{\text{ном}} + 100}{\alpha + 100}; \quad A_2 = (\tau \mu r P^2 F^{-1} U^{-2} l \cos^{-2} \phi K_k).$$

Значення функції (2.33) в точці мінімуму (B_0) визначається за умови:

$$B_0 = \prod_{i=1}^n \left(\frac{A_i}{\pi_i} \right)^{\pi_i} \quad (2.34)$$

Критеріальний метод аналізу узагальненої техніко-економічної моделі (2.34) показав, що в точці мінімуму (B_0)

$$B_0 = \left(\frac{A_1}{\pi_1} \right)^{\pi_1} \cdot \left(\frac{A_2}{\pi_2} \right)^{\pi_2}, \quad (2.35)$$

де π_1, π_2 — критерії подібності, які отримані з систематичних процедур критеріального методу за умови, що

$$\begin{cases} \pi_1 + \pi_2 = 1 \\ \frac{1}{4} \pi_1 - \pi_2 = 0 \end{cases}. \quad (2.36)$$

Рішення (2.36) дає наступні значення π :

$$\pi_1 = 4/5, \pi_2 = 1/5.$$

Ці значення критеріїв подібності показують, що в оптимальному варіанті вдосконалення структури ПЛ системоутворюючих та розподільних мереж при заданому значенні $\tilde{\varepsilon} \approx 0,25$ в середньому 80% являються інвестиційні вкладення, 20% — експлуатаційні витрати. Як показав аналіз проектних даних [36, 40] в середньому

інвестиційні вкладення складають 78÷79%%, а на експлуатаційні витрати приходить — 21÷22%%.

Узагальнену техніко-економічну модель ПЛ (2.33) використовуємо для визначення коефіцієнту формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів за умови, що два суміжних перерізи відрізняються один від одного на величину ε . У деяких випадках значення ε пропонується нормувати. Перевагою такого підходу є те, що для визначення параметричного ряду немає необхідності ухвалити потребу у виробі залежно від чисельного значення параметрів [55–58]. Враховуючи це значення перерізів записується як:

$$F_0 = \left(\frac{\pi_1 A_2}{\pi_2 A_1} \right)^{\frac{1}{\varepsilon+1}}. \quad (2.37)$$

Також вводяться наступні перетворення:

- вводиться узагальнена постійна складова $A'_2 = A_2/P^2$;
- вираз 2.37 може бути записаний у відносній формі за умови, що базисне значення узагальнених констант збігається з дійсним значенням цих констант A_p , тобто $A'_1 = A'_2 = 1$:

$$B = (A_1)^{\pi_1} (A'_2 P^2)^{\pi_2}. \quad (2.38)$$

Таким чином (2.34) має вигляд:

$$B = P^{0,4}. \quad (2.39)$$

Аналогічно для (2.37)

$$F = \left(\frac{A \cdot P^2}{A_1} \right)^{0,8} \quad (2.40)$$

або

$$F = P^{1,6}. \quad (2.41)$$

З (2.40) і (2.41) можна записати F як функцію відносних витрат

$$F = B^4. \quad (2.42)$$

Відповідно до раніше прийнятому критерію про те, що зміна відносних витрат повинна бути не меншою за $\varepsilon + 1$, задамося значенням ε в інтервалі 0,01÷0,2 й визначимо за (2.42) зміну відносного значення перерізу проводу F ПЛ.

Розрахунки виконано за допомогою комп'ютерної програми *Mathcad*, а результати розрахунків представляються в табл. 2.8

Таблиця 2.8

Результати розрахунку зміни відносного значення

перерізу проводу F ПЛ

ε	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
$F = 3^4$	1,04	1,08	1,13	1,17	1,22	1,26	1,31	1,36	1,41	1,46
ε	0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20
$F = 3^4$	1,52	1,57	1,63	1,69	1,75	1,81	1,87	1,94	2,00	2,07

Як слідує з аналізу табл. 2.8, критеріальний метод показав, яким повинен бути крок наростання оптимального параметричного ряду перерізів проводів за умови, що два суміжних перерізи відрізняються один від одного на величину, яка не перевищує по витратам величини $\varepsilon + 1$.

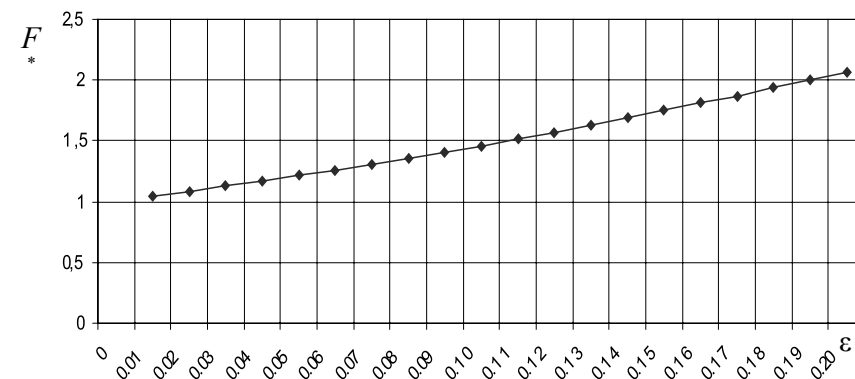


Рис. 2.9. Залежність значення зміни відносного перерізу F^* від ε в інтервалі 0,01÷0,2

На рис. 2.9 представлено залежність значення зміни відносного перерізу F від ε в інтервалі 0,01÷0,2.

У загальному випадку формування допустимої області існування рішення (табл. 2.8) залежить від похибки вихідної інформації δ , точність якої і визначає значення ε . Результати оцінки показані нижче:

$$\delta, \% \pm 1 \pm 2 \pm 3 \pm 4 \pm 5 \pm 6 \pm 7 \pm 8 \pm 9 \pm 10$$

$$F 2,0 \ 2,0 \ 2,02 \ 2,02 \ 2,03 \ 2,04 \ 2,06 \ 2,08 \ 2,10 \ 2,12$$

Таким чином, при обґрунтуванні коефіцієнта формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів значну роль відіграє похибка експлуатаційних характеристик.

З практики відомо, що точність інженерних розрахунків складає не менше 10%. Отже, найбільш прийнятний коефіцієнт формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів в цьому випадку має бути не менше 2.

Проведені наукові дослідження дозволили визначити, що найбільш простий шлях дотриматись такого коефіцієнта можливо шляхом виключення проміжних стандартних значень перерізів проводів у своєму класі напруги відповідних ЕМ (розділ 1.5) згідно нормативної документації [17–23].

Враховуючи вище наведене:

- для ПЛІ системоутворюючих ЕМ доцільно мати один оптимальний переріз проводу: 750 кВ — 330–400 мм².
- для ПЛІ розподільних ЕМ доцільно мати два оптимальні перерізи проводів: 110 кВ — 240 мм²; 35 кВ — 120 мм².

2.4. Формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів для повітряних ліній належних відповідним електричним мережам

Для обґрунтування представлених у розділі 2.3 (р. 2.3) досліджень використано вихідні дані й розрахункову схему нормального режиму роботи ПЗЕС (рис. 1.14; додаток А) в програмному середовищі AutoCAD з використанням ГрафСАНЕРу для кожного класу напруги відповідних ЕМ.

2.4.1. Параметричний ряд перерізів проводів повітряних ліній системоутворюючих електричних мереж

Системоутворюючу мережу ПЗЕС формують ПЛІ 750–330 кВ (рис. 1.14). Оптимізація ПЛІ даної мережі проводилась за рахунок зміни перерізів проводів. При розрахунку було змінено параметри існуючих перерізів проводів ПЛІ 750 кВ і 330 кВ (рис. 1.14) на переріз проводу АС 400/51, який отриманий в результаті наукових досліджень (р. 2.3), з відповідною кількістю проводів в фазі за нормативною документацією [17–23].

Аналіз зміни впливу неоднорідності мережі виконувався за критерієм мінімуму втрат активної потужності при її транспортуванні та розподілу.

Дослідження проводилися поетапно. Спочатку було змінено параметри перерізів проводів ПЛІ 750 кВ, при цьому параметри проводів ПЛІ 330 кВ були залишені без зміни. Результати розрахунків представлені в додатку В, та зведені в табл. 2.9.

Таблиця 2.9

Зміна втрат активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС до оптимізації перерізів проводів в порівнянні з втратами активної потужності (ΔP , МВт) після оптимізації ПЛІ 750 кВ.

U , кВ	ΔP (до оптимізації)	ΔP (після оптимізації 750 кВ)
110–750	48,273	44,003
110	5,247	5,095
330	34,953	33,768
750	8,073	5,140

На наступному етапі було виконано оптимізацію перерізів проводів ПЛІ 330 кВ, при цьому параметри проводів ПЛІ 750 кВ були залишені без зміни. Результати розрахунку проводилися аналогічно з розрахунком ПЛІ 750 кВ та зведені в табл. 2.10.

На заключному етапі було виконано оптимізацію перерізів проводів всієї системоутворюючої ЕМ ПЗЕС, тобто одночасно було змі-

нено параметри проводів ПЛІ 750–330 кВ. Результати розрахунку проводилися аналогічно з розрахунком ПЛ 750 кВ та зведені в табл. 2.11.

Таблиця 2.10

Зміна втрат активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС до оптимізації перерізів проводів в порівнянні з втратами активної потужності (ΔP , МВт) після оптимізації ПЛ 330 кВ.

U , кВ	ΔP (до оптимізації)	ΔP (після оптимізації 330 кВ)
110–750	48,273	33,699
110	5,247	5,144
330	34,953	20,377
750	8,073	8,179

Таблиця 2.11

Зміна втрат активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС до оптимізації перерізів проводів в порівнянні з втратами активної потужності (ΔP , МВт) після оптимізації ПЛІ 750–330 кВ.

U , кВ	ΔP (до оптимізації)	ΔP (після оптимізації 750–330кВ)
110–750	48,273	29,516
110	5,247	4,993
330	34,953	19,300
750	8,073	5,223

Аналіз табл. 2.9–2.11 показав, що при оптимізації параметричного ряду перерізів проводів зменшується вплив неоднорідності мережі, що відображається на втратах активної потужності при її транспортуванні.

В таблицях 2.12 і 2.13 представлено величину втрат активної потужності по системоутворюючій ЕМ ПЗЕС після оптимізації параметричного ряду перерізів проводів.

В таблицях 2.12, 2.13:

«←» — зменшення втрат активної потужності за оптимізації ПЛІ у порівнянні з втратами активної потужності до оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛІ.

«+» — збільшення втрат активної потужності за оптимізації ПЛІ у порівнянні з втратами активної потужності до оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛІ.

Таблиця 2.12

Втрати активної потужності (ΔP , МВт) по системоутворюючій ЕМ ПЗЕС після оптимізації параметричного ряду перерізів проводів

U , кВ	ΔP (після оптимізації 750 кВ)	ΔP (після оптимізації 330 кВ)	ΔP (після оптимізації 750–330кВ)
110–330–750	–4,27	–14,574	–18,757
110	–0,152	–0,103	–0,254
330	–1,185	–14,576	–15,653
750	–2,933	+0,106	–2,85

Таблиця 2.13

Втрати активної потужності (ΔP , відн.од.) по системоутворюючій ЕМ ПЗЕС після оптимізації параметричного ряду перерізів проводів

U , кВ	ΔP (після оптимізації 750 кВ)	ΔP (після оптимізації 330 кВ)	ΔP (після оптимізації 750–330кВ)
110–330–750	– 0,083	– 0,302	– 0,389
110	– 0,021	– 0,038	– 0,048
330	– 0,029	– 0,277	– 0,238
750	– 0,033	+0,013	– 0,103

Як слідує з табл. 2.12–2.13, оптимізація параметричного ряду перерізів проводів ПЛІ 330 кВ має більш суттєве значення в порівнянні з оптимізацією параметричного ряду перерізів проводів ПЛІ 750 кВ за критерієм мінімум технологічних втрат активної потужності при її транспортуванні.

Оптимізація параметричного ряду перерізів проводів системоутворюючої ЕМ в цілому також має позитивний ефект (табл. 2.12–2.13).

2.4.2. Параметричний ряд перерізів проводів повітряних ліній розподільних електричних мереж

Оптимізація ПЛ розподільних ЕМ ПЗЕС проводилась за рахунок зміни перерізів проводів. При розрахунку було змінено параметри існуючих перерізів проводів ПЛ 110 кВ (рис. 1.14) на переріз проводу АС 240/32, який отриманий в результаті наукових досліджень (р. 2.3), з відповідною кількістю проводів в фазі за нормативною документацією [17–23].

Аналіз зміни впливу неоднорідності мережі виконувався за критерієм мінімум технологічних втрат активної потужності при її розподілі.

При проведенні досліджень змінено параметри перерізів проводів для ПЛ 110 кВ, при цьому параметри проводів системоутворюючої ЕМ були залишені без зміни. Результати розрахунки проводилися аналогічно з розрахунком ПЛ 750 кВ та зведені в табл. 2.14.

Таблиця 2.14

Зміна втрат активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС до оптимізації перерізів проводів в порівнянні з втратами активної потужності (ΔP , МВт) після оптимізації ПЛ 110 кВ.

U , кВ	ΔP (до оптимізації)	ΔP (данні після оптимізації 110 кВ)
110–750	48,273	47,364
110	5,247	4,345
330	34,953	34,946
750	8,073	8,072

Аналіз табл. 2.14 показав, що при оптимізації параметричного ряду перерізів проводів зменшується вплив неоднорідності мережі, що відображається на втратах активної потужності при її розподілі. В таблицях 2.15 і 2.16 представлено величину втрат активної потужності по розподільній ЕМ ПЗЕС після оптимізації параметричного ряду перерізів проводів.

Таблиця 2.15

Втрати активної потужності (ΔP , МВт) по розподільній ЕМ ПЗЕС після оптимізації параметричного ряду перерізів проводів

U , кВ	ΔP (після оптимізації 110 кВ)
110–330–750	0,909
110	0,901
330	0,007
750	0,001

Таблиця 2.16

Втрати активної потужності (ΔP , відн.од.) по розподільній мережі ПЗЕС після оптимізації параметричного ряду перерізів проводів

U , кВ	ΔP (після оптимізації 110 кВ)
110–330–750	– 0,0191
110	– 0,17
330	– 0,02
750	– 0,001

В таблицях 2.15, 2.16:

«–» — зменшення втрат активної потужності за оптимізації ПЛ у порівнянні з втратами активної потужності до оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ.

«+» — збільшення втрат активної потужності за оптимізації ПЛ у порівнянні з втратами активної потужності до оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ.

Як слідує з табл. 2.15–2.16, оптимізація параметричного ряду перерізів проводів ПЛ 110 кВ має не суттєве значення за критерієм мінімуму технологічних втрат активної потужності при її розподілі для ЕЕС в цілому, що також підтверджує доцільність системного підходу.

3. СИСТЕМНИЙ ПІДХІД АНАЛІЗУ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

У попередньому розділі, аналізуючи критеріальним методом техніко-економічні моделі дисконтованих витрат ПЛ, був визначений в першому наближенні коефіцієнт формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів і обґрунтований в рамках відповідної ЕМ. Критеріальний метод дав можливість в умовах не повноти інформації отримати рішення за одним критерієм-перерізом проводу при напрузі — const [30, 33–35].

Для більш поглибленого аналізу однокритеріальний підхід у вирішенні завдання вдосконалення структури ПЛ недостатньо ефективний, оскільки не враховує ряд існуючих факторів [35]. ПЛ є відповідальними об'єктами ЕЕС за транспортування та розподіл електроенергії і найбільш вразливими, оскільки це протяжні і, на сьогоднішній день, не контрольовані об'єкти системи, котрі взаємодіють з навколишнім середовищем, що також впливає на ефективність їх роботи. Так само на роботу ПЛ впливає ряд факторів, які впливають із самої сутності енергетики, як великої системи. Розвиток і функціонування якої підпорядковані виконанню значного числа самих різних цілей. ЕЕС в умовах енергоринку повинна бути економною, забезпечувати повне і надійне постачання споживачам електроенергії та не повинна негативно впливати на довкілля. До цих цілей додається ще безліч інших здебільшого локальних і суперечливих цілей, а також різних типів вихідної інформації про систему, що призводить до невизначеності цілей і неповноти вихідної інформації.

Таким чином, для вирішення завдання вдосконалення структури ПЛ доцільно в подальших наукових дослідженнях використовувати багатокритеріальний підхід (рис. 2.8), реалізувати який доцільно в рамках системного аналізу [59–62].

3.1. Системний аналіз техніко-економічних моделей повітряних ліній

Результати, отримані при аналізі техніко-економічної моделі ПЛ (2.31) використовуються в подальших наукових дослідженнях.

З огляду на те, що в кожному класі напруги є свої перерізи проводу для подальших досліджень формується ще одна техніко-економічна модель ПЛ з використанням двох змінних — перерізу проводів і напруги ПЛ.

Припускаючи, що переріз проводу і напруга змінюються безперервно, інвестиційні вкладення в 1 км ПЛ представляються як:

$$\hat{K} = K_0 + K_u U^\alpha + K_F F, \quad (3.1)$$

де U — номінальна напруга ПЛ, кВ;

F — переріз проводу, мм²;

K_0 — коефіцієнт постійної складової вартості, яка не залежить від перерізу проводу і класу напруги ПЛ;

K_u — коефіцієнт, який враховує клас напруги;

K_F — коефіцієнт, який враховує зміну вартості спорудження 1 км ПЛ залежно від перерізу проводу;

α — показник ступеня:

— для ПЛ 35–110 кВ — $\alpha = 1$;

— для ПЛ 330–750 кВ $\alpha = 2$.

Враховуючи (3.1 і 2.7) дисконтовані витрати мають вигляд:

$$\hat{A} = K_0 \hat{p} l + K_u \hat{p} l U_i^\alpha + K_F \hat{p} l F + \frac{\mu p l P^2 K_k}{U^2 \cos^2 \phi F}, \quad (3.2)$$

де K_0 — коефіцієнт постійної складової вартості, яка не залежить від перерізу проводу і класу напруги ПЛ;

K_u — коефіцієнт, який враховує клас напруги;

K_F — коефіцієнт, який враховує зміну вартості спорудження 1 км ПЛ залежно від перерізу проводу;

p_l — коефіцієнт відрахувань, який складається з суми:

$$p_l = p_a + p_{\text{рем і обл}}, \quad (3.3)$$

де p_a — коефіцієнт відрахувань на амортизацію;

$p_{\text{рем і обл}}$ — коефіцієнт відрахувань на ремонт та обслуговування ПЛ системоутворюючої мережі;

F — переріз проводу ПЛ системоутворюючої мережі, мм²;

τ — час максимальних втрат, рік, визначається як

$$\tau = (0,124 + T_{\max}/10^4)^2 8760, \quad (3.4)$$

де T_{\max} — максимальний час використання, рік;
 μ — питома вартість втрат електроенергії, г.о. / (кВт год);
 ρ — питомий опір провідникового матеріалу, Ом мм²/км;
 P — максимальна потужність ПЛ, МВт;
 U — напруга ПЛ, кВ;
 l — довжина ПЛ, км;
 $\cos\phi$ — коефіцієнт потужності ПЛ;
 K_k — коефіцієнт втрат на корону ПЛ, який складається з

$$K_k = (\tau + K_r), \quad (3.5)$$

де K_r — показник втрат на корону, для $\tau = 1000 \div 7000$ (год/рік)
 $K_r = 0,05 \div 0,15$ і враховується тільки для ПЛ 330–750 кВ системоутворюючої мережі.

Використовуючи методику критеріального аналізу техніко-економічну модель (3.2) записується у вигляді

$$B = A_0 + A_u U^\alpha + A_F F + A_P U^{-2} F^{-1}. \quad (3.6)$$

У цій моделі змінився зміст узагальнених констант таким чином:

- для ПЛ 35–110 кВ не ввійшли показники втрат на корону ($Kr = 0$);
- для ПЛ 330–750 кВ присутні показники втрат на корону ($Kr \neq 0$).

У зв'язку з тим, що критеріальний метод не може ефективно використовуватися при наявності в моделі (3.6) постійної складової. Тому дана модель замінюється моделлю, яка не містить постійної складової в явному вигляді:

$$B = A'_1 F^{\alpha l} + A'_2 U^\alpha + A'_3 U^{-2} F^{-1} \quad (3.7)$$

Наявність невизначеності вихідної інформації, закладеної в узагальнених константах є недоліком таких моделей і призводить до неповноти інформації.

Згідно [30, 33–35] модель (3.7) в критеріальній формі записується в такий спосіб:

$$B = \pi'_1 F^{\alpha l} + \pi'_2 U^\alpha + \pi'_3 U^{-2} F^{-1}, \quad (3.8)$$

де π'_1, π'_2, π'_3 — критерії подібності.

Критерії подібності не залежать від вихідної інформації і визначаються з системи рівнянь, формування якої базується на умовах ортогональності і нормування в точці оптимуму [30, 33–35].

Частка участі кожної складової моделі (3.1.8) в мінімумі дисконтованих витрат буде:

— для ПЛ 35–110 кВ при $\alpha = 1$

$$\pi'_1 = \frac{1}{3\alpha_1 + 1}; \pi'_2 = \frac{2\alpha_1}{3\alpha_1 + 1}; \pi'_3 = \frac{\alpha_1}{3\alpha_1 + 1}; \quad (3.9)$$

— для ПЛ 330–750 кВ при $\alpha = 2$

$$\pi'_1 = \frac{1}{2\alpha_1 + 1}; \pi'_2 = \frac{\alpha_1}{2\alpha_1 + 1}; \pi'_3 = \frac{\alpha_1}{2\alpha_1 + 1}, \quad (3.10)$$

де α_1 — показник ступеня, який був отриманий в результаті аналізу вартісних характеристик ПЛ (додаток Б) зі середньоквадратичною похибкою апроксимації, яка не перевищує 10 %.

Аналіз моделі (3.8) в критеріальній формі дозволяє оцінити співвідношення між дисконтованими витратами і всіма видами експлуатаційних відрахувань, в тому числі і відрахуваннями, що припадають на покриття втрат електричної енергії різних класів напруги в рамках ЕЕС.

Таблиця 3.1

Результати розрахунку складових техніко-економічних моделей
ПЛ 35–750кВ

Напруга, кВ	35	110	330	750
π'_1	0,55	0,56	0,46	0,2
π'_2	0,3	0,29	0,27	0,4
π'_3	0,15	0,15	0,27	0,4
α_1	0,27	0,26	0,59	2

Такий підхід є актуальним для ЕЕС, оскільки найбільші втрати активної потужності спостерігаються при поєднанні системоутворюючої та розподільної мереж (розділи 1.6 і 2.4), тобто при трансформації енергії на понижуючих підстанціях (розділ 1.6, додаток А).

Результати розрахунків представлені в табл. 3.1.

Як показав порівняльний аналіз представлених в табл. 3.1 значень критеріїв подібності і статистичних даних (розділ 1.6) вони не суперечать проектній практиці [36, 40].

3.2. Формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів повітряних ліній з позиції системного підходу

Вдосконалена в розділі 3.1 техніко-економічна модель ПЛ (3.2) використовується для знаходження шагу наростання шкали параметричного ряду перерізів проводів всіх класів напруги за умови, що два суміжних переріза відрізняються один від одного на величину, яка не перевищує ε (значення зони рівноеконічності). Для цього з (3.7) визначається величина витрат і значення оптимальних параметрів в точці мінімуму для кожного класу напруги ЕЕС:

$$F_* = \left[\pi_{1i}^{\alpha+2} \pi_{2i}^{-1} \pi_{3i}^{\alpha} A_2^{-\alpha} A_3 A_1^{(-\alpha-2)} \right]^{1/(2\alpha+1+\alpha)} ;$$

$$B_{i0} = \left(\frac{A_1}{\pi_{1i}} \right)^{\pi_{1i}} \left(\frac{A_2}{\pi_{2i}} \right)^{\pi_{2i}} \left(\frac{A_3}{\pi_{3i}} \right)^{\pi_{3i}} ; \quad (3.11)$$

$$U_* = \left[\pi_{1i}^{-2} \pi_{2i}^{(\alpha+1)} \pi_{3i}^{2\alpha} A_1^2 A_2^{-(\alpha+1)} A_3^{-2\alpha} \right]^{1/(2\alpha+1+\alpha)} .$$

Введемо узагальнену постійну і запишемо (3.11) у відносній формі за умови, що базисне значення узагальнених констант збігається з дійсним значенням цих констант A_i тобто $A_1 = A_2 = A_3 = 1$. Таким чином, критеріальна залежність економічно доцільних па-

раметрів і функції витрат для свого класу напруги були пораховані і зведені в табл. 3.2. і 3.3

Таблиця 3.2

Критеріальна залежність параметрів
ПЛ 35–750 і функції витрат

Напруга, кВ	35	110	330	750
B_*	$P_*^{0,15}$	$P_*^{0,17}$	$P_*^{0,27}$	$P_*^{0,4}$
F_*	$P_*^{0,55}$	$P_*^{0,66}$	$P_*^{0,46}$	$P_*^{0,2}$
U_*	$P_*^{0,3}$	$P_*^{0,17}$	$P_*^{0,27}$	$P_*^{0,4}$

Таблиця 3.3

Зв'язок зміни відносного значення перерізу проводу та напруги
з витратами ПЛ 35–750 кВ

Напруга, кВ	35	110	330	750
B_*	3_*^2	3_*	3_*	3_*^2
F_*	$3_*^{3,67}$	$3_*^{3,88}$	$3_*^{1,7}$	$3_*^{0,5}$
U_*	$F_*^{0,55}$	$F_*^{0,27}$	$F_*^{0,59}$	F_*^2

Вирази, наведені в табл. 3.2 і 3.3 відображають основні характеристики економічної подібності і дозволяють знайти зв'язок між відносною зміною перерізу проводу, напругою і витратами для ПЛ відповідного класу напруги в рамках ЕЕС.

Згідно з прийнятим раніше критерієм відносна зміна витрат має бути не менше ніж $\varepsilon + 1$. Задавшись ε в інтервалі 0,01 до 0,2 і використовуючи залежності табл. 3.3 обчислюються значення відносної зміни перерізу за допомогою комп'ютерної програми *Mathcad* [54]. Результати досліджень представлені в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Результати розрахунку зміни відносного значення
перерізу проводу F_* ПЛІ

U, кВ	ε	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
35	$F_* = 3^{3,67}_*$	1.037	1.075	1.115	1.155	1.196	1.238	1.282	1.326	1.372	1.419
		0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20
110	$F_* = 3^{3,88}_*$	1.467	1.516	1.566	1.617	1.670	1.724	1.779	1.836	1.893	1.953
		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
330	$F_* = 3^{1,7}_*$	1.039	1.080	1.122	1.164	1.208	1.254	1.300	1.348	1.397	1.447
		0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20
750	$F_* = 3^{0,5}_*$	1.499	1.552	1.607	1.663	1.720	1.779	1.839	1.901	1.964	2.029
		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
		1.017	1.034	1.050	1.070	1.090	1.100	1.120	1.140	1.160	1.180
		0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20
		1.190	1.210	1.230	1.250	1.270	1.290	1.310	1.320	1.340	1.360
		0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.10
		1.000	1.010	1.014	1.020	1.025	1.030	1.034	1.040	1.044	1.050
		0.11	0.12	0.13	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	0.19	0.20
		1.054	1.058	1.060	1.070	1.072	1.077	1.080	1.086	1.090	1.100

Результати в табл. 3.4 припускають, що вихідна інформація (А) приймається в відносних одиницях значення рівне 1, тобто без будь-якої похибки.

На рис. 3.1 представлено графічне відображення зміни відносного значення перерізу проводу F_* ПЛІ ЕЕС.

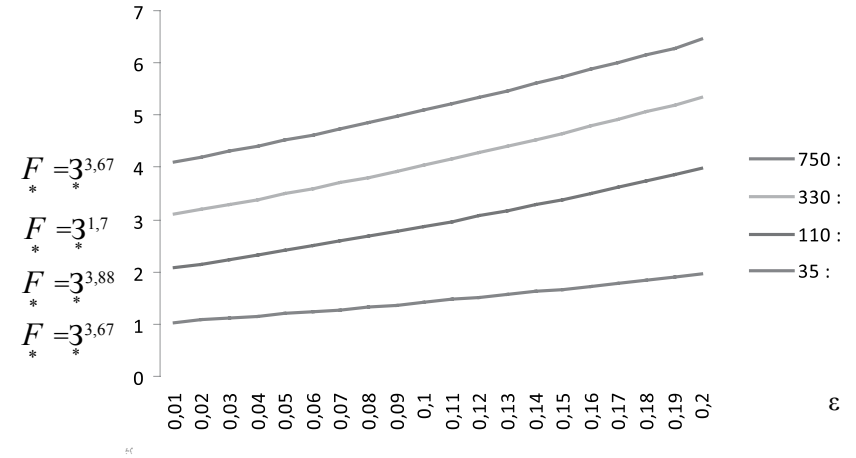


Рис. 3.1. Графічне відображення зміни відносного значення перерізу проводу F_* ПЛІ ЕЕС

Аналізуючи моделі (3.11) за якими були отримані коефіцієнти формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів системоутворюючих ЕМ 330–750 кВ і розподільних ЕМ 35–110 кВ, можливо зробити висновок, що ці величини для двох мереж мало відрізняються одна від одної. Тому для знаходження оптимального параметричного ряду перерізів проводів, враховуючи при цьому клас напруги доцільніше сформувати нові моделі для цих мереж.

Для системоутворюючих ЕМ 330–750 кВ модель має вигляд:

$$U_* = F_*^{0,623}. \quad (3.12)$$

Для розподільних ЕМ 35–110 кВ модель має вигляд:

$$U_* = F_*^{0,594}. \quad (3.13)$$

Для кожної мережі ЕЕС в табл. 3.5 представлені коефіцієнти формування оптимального параметричного ряду параметричного ряду перерізів проводів в залежності від похибки вихідної інформації.

Таблиця 3.5

Значення коефіцієнта наростання шкали і число ступенів в шкалі перерізів проводів залежно від похибки вихідної інформації

U , кВ	35–110 кВ		330–750 кВ	
δ , %	n	k_F	n	k_F
3	7,1	1,31	4,47	1,17
4	5,4	1,42	3,4	1,22
5	4,3	1,52	2,73	1,28
6	3,7	1,63	2,3	1,33
7	3,1	1,7	2,0	1,39
8	2,8	1,9	1,8	1,45
9	2,5	2,0	1,6	1,5
10	2,3	2,12	1,47	1,56

У загальному випадку відносно значення перерізу проводу передбачає відношення подальшого перерізу до попереднього:

$$F_* = \frac{F_2}{F_1}$$

Для перерізу F_* таким відношенням буде відношення перерізу F_2 , що належить U_2 до перерізу F_1 , що належить U_1 .

Для коефіцієнта формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів відношення

$$k_F = \frac{F_2'}{F_1'}$$

передбачає їх належність до одного ступеня напруги (U).

Зв'язок між F_1' і F_2' можливо здійснити через число ступенів перерізів проводів, що належать одному ступеню напруги

$$F_* = (k_F)^n \quad (3.14)$$

де n — число ступенів шкали перерізів проводів.

Значення k_F в економічно доцільному варіанті залежить певною мірою від похибки вихідної інформації. Зміна k_F знаходиться в певному діапазоні, границі якого визначаються максимально і мінімально можливими експлуатаційними характеристиками. Залежно від похибки вихідної інформації змінюється не тільки коефіцієнт формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів, але і число ступенів (n) цієї шкали, що зменшується в межах можливого діапазону зміни перерізу. При цьому чим більше похибка вихідної інформації, тим менше число ступенів укладається в заданому діапазоні.

Для дослідження зміни k_F і n проаналізовано табл. 3.5.

Якщо прийняти похибку вихідної інформації рівну 3 %, то:

- для розподільних мереж 35–110 кВ $k_F = 1,31$, а число ступенів в шкалі становить $n = 7,1$;
- для системоутворюючих мереж 330–750 кВ $k_F = 1,17$, а число ступенів в шкалі становить $n = 4,47$;

Якщо прийняти похибку вихідної інформації рівну 10 %, то:

- для розподільних мереж 35–110 кВ $k_F = 2,12$, а число ступенів в шкалі буде $n = 2,3$;
- для системоутворюючих мереж 330–750 кВ $k_F = 1,56$, а число ступенів в шкалі буде $n = 1,47$.

3.3. Взаємозв'язок оптимального параметричного ряду проводів з шкалою напруги при вдосконаленні повітряних ліній

Проведені дослідження дозволили визначити зв'язок між відносною зміною перерізів проводів, напругою і витратами для i -го класу напруги. Це дає можливість при відомому коефіцієнті формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів отримати

коефіцієнт наростання шкали напруг, тому що під коефіцієнтом наростання передбачається відносна зміна акцентованого параметра. При цьому враховується, що коефіцієнт формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів і шкали напруг не враховує того, що одній ступені напруги повинно відповідати кілька номінальних перерізів. В іншому випадку шкала напруг буде дробовою і кожному новому перерізу буде відповідати своя напруга.

Таким чином, для побудови шкали напруг доцільно виходити з того, що одній ступені напруги відповідає певне (оптимальне для заданої похибки) число ступенів в параметричному ряді перерізів проводів.

Скориставшись виразами (3.12–3.13) записується:

— для розподільних мереж 35–110 кВ

$$U_* = F_*^{0,594} = (k_F)_*^{0,594n}; \quad (3.15)$$

— для системоутворюючих мереж 330–750 кВ

$$U_* = F_*^{0,623} = (k_F)_*^{0,623n}, \quad (3.16)$$

де U_* — відносна зміна напруги;

k_F — коефіцієнт формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів при певній похибці вихідної інформації;

n — оптимальне число ступенів в параметричному ряді перерізів проводів, яке залежить від похибки вихідної інформації.

Використовуючи залежності (3.15–3.16) і дані табл. 3.5 визначається коефіцієнт наростання шкали напруги ($k_U = U_*$) в залежності від похибки вихідної інформації для кожної ЕМ в рамках ЕЕС. Дані розрахунків представляються у табл. 3.6.

З аналізу табл. 3.6 і рис. 3.2 випливає, що коефіцієнт наростання шкали напруги не однаковий на всьому протязі стандартних значень. Крім того коефіцієнт наростання шкали напруги, як для розподільних так і для системоутворюючих мереж не залежить від похибки вихідної інформації, яка в свою чергу накладає обмеження на коефіцієнт формування оптимального параметричного ряду перерізів проводів і число ступенів в ньому.

Таблиця 3.6

Коефіцієнт наростання шкали напруги залежно від похибки вихідної інформації для кожної ЕМ в рамках ЕЕС

U , кВ	35–110 кВ	330–750 кВ
δ , %	k_U	k_U
3	3,1	1,54
4	3,08	1,52
5	2,9	1,52
6	2,93	1,50
7	2,66	1,51
8	2,91	1,52
9	2,8	1,50
10	2,8	1,50

Таким чином, маючи коефіцієнт наростання шкали напруги в рамках ЕЕС для розподільної ЕМ (табл. 3.6 і рис. 3.2) $k_U \approx 3$, і з огляду на те, що похибка вихідної інформації становить не мен-

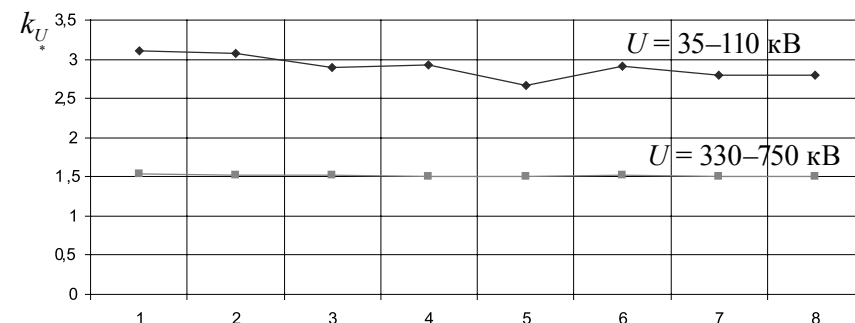


Рис. 3.2. Залежність коефіцієнта наростання шкали напруг залежно від похибки вихідної інформації

ше 10% з коефіцієнтом наростання шкали перерізів проводів k_F не менше 2,12 (табл. 3.5) й застосовуючи зворотну задачу по відношенню до розглянутої, вид якої

$$k_F = (k_U)^{(0,594n)-1} \quad (3.17)$$

можливо визначити число ступенів проводів параметричного ряду ПЛ розподільних мереж

$$n = \frac{1,684}{\log_{k_U} k_F}; \quad (3.18)$$

$$n = \frac{1,684}{\log_3 2,12} = \frac{1,684}{0,685} = 2,4. \quad (3.19)$$

З (3.19) випливає, що число ступенів проводів для ПЛ 35–110 кВ розподільних мереж має бути не більше 2.

Аналогічно виконується аналіз для системоутворюючих ЕМ (табл. 3.6) $k_U \approx 1,5$, і з огляду на те, що похибка вихідної інформації становить не менше 10% з коефіцієнтом наростання шкали перерізів проводів k_F не менше 1,56 (табл. 3.5) й застосовуючи зворотну задачу по відношенню до розглянутої, вид якої

$$k_F = (k_U)^{(0,623n)-1} \quad (3.20)$$

можливо визначити число ступенів проводів параметричного ряду ПЛ системоутворюючих мереж

$$n = \frac{1,605}{\log_{k_U} k_F}; \quad (3.21)$$

$$n = \frac{1,605}{\log_{1,5} 1,56} = 1,1. \quad (3.22)$$

З (3.22) слідує, що число ступенів проводів для ПЛ 330–750 кВ системоутворюючих ЕМ має бути не більше 1.

3.4. Обґрунтування вдосконалення структури повітряних ліній з позиції системного підходу

Електричний зв'язок між системоутворюючими і розподільними ЕМ виконують ПЛ 330 і 110 кВ. Особливу увагу, з позицій системного підходу, заслуговують ПЛ 110 кВ. Оскільки вони можуть виконувати функції як для транспортування так і для розподілу електроенергії в залежності від їх призначення в ЕЕС. Тому доцільно при обґрунтуванні оптимального параметричного ряду перерізів проводів за базис прийняти ПЛ цього класу напруги.

Відомо, що масова електрифікація країни виконувалася в 70-х роках минулого століття і критерії вибору оптимального варіанту були дещо іншими. Даний фактор був прийнятий до уваги при формуванні базового варіанту для дослідження. Вони виконувались за допомогою прикладної комп'ютерної програми *Mathcad* [54]. Можливі оптимальні рішення при такій постановці задачі наведені в табл. 3.7 з урахуванням перерозподілу довжин ПЛ за перерізом проводів.

Таблиця 3.7

Варіанти розподілу довжин ПЛ 110 кВ за перерізом проводів 70 мм², 120 мм², 240 мм² і дисконтовані витрати за варіантами

№ варіант дослідження	розподілу довжин ПЛ за перерізом, %			З, %
	70 мм²	120 мм²	240 мм²	
1	38	35	27	100
2	38	21	41	99,5
3	38	0	62	99,9
4	24	0	76	99,6
5	9	0	91	99,9
6	0	0	100	100
7	24	49	27	98,1
8	9	64	27	97,0
9	0	73	27	96,6
10	24	35	41	97,6

З табл. 3.7 слідує, що всі варіанти є рівноекономічними, але з точки зору збільшення пропускної здатності ПЛ, зниження втрат електроенергії варіант 6 є оптимальним, що відповідає ПУЕ України і не суперечить світовій практиці уніфікації ПЛ.

Таким чином, при вдосконаленні структури ПЛ, якщо взяти за базис ПЛ 110 кВ та результати отримані в розділі 3.3, то оптимальний параметричний ряд перерізів проводів з позиції системного підходу в рамках ЕЕС становить:

- для розподільних ЕМ: 240 мм²;
- для системоутворюючих ЕМ: 400 мм².

Оскільки ПЛ 110 кВ являються сполучними з системоутворюючою ЕМ через ПЛ 330 кВ, в яких відповідно до вихідних даних (табл. 1.6) найбільші по ЕЕС втрати активної потужності в режимі роботи, що аналізується, то доцільно розглянути зміну міжмережевих втрат активної потужності.

Для підтвердження наукових досліджень використано вихідні дані й розрахункову схему нормального режиму роботи ПЗЕС (рис. 1.14; додаток А). Розрахунок виконано в програмному середовищі AutoCAD з використанням ГрафСАНЕРу. Для реалізації даної задачі одночасно існуючі параметри перерізи проводів ПЛ 110 кВ і 330 кВ змінюються на оптимальні перерізи у відповідній ЕМ ЕЕС, при цьому параметри перерізів проводів 750 кВ залишаються без зміни. Результати розрахунку представлено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Зміна втрат активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС до оптимізації перерізів проводів в порівнянні з втратами активної потужності (ΔP , МВт) після оптимізації ПЛ 330–110 кВ.

U , кВ	ΔP (до оптимізації)	ΔP (данні після оптимізації 330–110 кВ)
110–750	48,273	32,820
110	5,247	4,248
330	34,953	20,393
750	8,073	8,179

В таблицях 3.9 і 3.10 представлено величину втрат активної потужності після оптимізації перерізів проводів ПЛ 330–110 кВ ПЗЕС.

Таблиця 3.9

Втрати активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС після оптимізації перерізів проводів ПЛ 330–110 кВ

U , кВ	ΔP (після оптимізації 330–110 кВ)
110–330–750	–15,453
110	–0,999
330	–14,56
750	+0,106

Таблиця 3.10

Втрати активної потужності (ΔP , відн.од.) по ПЗЕС після оптимізації перерізів проводів ПЛ 330–110 кВ

U , кВ	ΔP (після оптимізації 330–110 кВ)
110–330–750	– 0,320
110	– 0,116
330	– 0,217
750	+0,013

В таблицях 3.9, 3.10:

«–» — зменшення втрат активної потужності за оптимізації ПЛ у порівнянні з втратами активної потужності до оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ.

«+» — збільшення втрат активної потужності за оптимізації ПЛ у порівнянні з втратами активної потужності до оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ.

Як слідує з табл. 3.9–3.10, між мережева оптимізація параметричного ряду перерізів проводів ПЛ 330–110 кВ має суттєве значення за критерієм мінімуму технологічних втрат активної потужності при її транспортуванні та розподілі для ЕЕС в цілому.

Системний підхід оптимізації ПЛ передбачає комплексну заміну існуючих перерізів проводів ПЛ 750–330–110 кВ на перерізи, які були отримані в результаті наукових досліджень і використанні при оптимізації системоутворюючої та розподільних ЕМ ПЗЕС з відповідною кількістю проводів в фазі за нормативною документацією.

Розрахунок виконано в програмному середовищі AutoCAD з використанням ГрафСАНЕРу.

Для реалізації даної задачі одночасно параметри існуючих перерізів проводів ПЛ 750–330–110 кВ змінюються на параметри оптимальних перерізів проводів ліній у відповідній ЕМ ЕЕС.

Результати розрахунку представлено в табл. 3.11.

Таблиця 3.11

Зміна втрат активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС до оптимізації перерізів проводів в порівнянні з втратами активної потужності (ΔP , МВт) після оптимізації ПЛ 750–330–110 кВ.

U , кВ	ΔP (до оптимізації)	ΔP (данні після оптимізації 750–330–110 кВ)
110–750	48,273	28,691
110	5,247	4,148
330	34,953	19,317
750	8,073	5,226

В таблицях 3.12 і 3.13 представлено величину втрат активної потужності після оптимізації перерізів проводів ПЛ 750–330–110 кВ ПЗЕС.

Таблиця 3.12

Втрати активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС після оптимізації перерізів проводів ПЛ 750–330–110 кВ

U , кВ	ΔP (після оптимізації 750–330–110 кВ)
110–330–750	–19,582
110	–1,099
330	–15,636
750	–2,847

Таблиця 3.13

Втрати активної потужності (ΔP , відн.од.) по ПЗЕС після оптимізації перерізів проводів ПЛ 750–330–110 кВ

U , кВ	ΔP (після оптимізації 750–330–110 кВ)
110–330–750	– 0,405
110	– 0,097
330	– 0,205
750	– 0,103

В таблицях 3.12, 3.13:

«–» — зменшення втрат активної потужності за оптимізації ПЛ у порівнянні з втратами активної потужності до оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ.

«+» — збільшення втрат активної потужності за оптимізації ПЛ у порівнянні з втратами активної потужності до оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ.

Як слідує з табл. 3.12–3.13, комплексна оптимізація параметричного ряду перерізів проводів ПЛ 750–330–110кВ значно знижує вплив неоднорідності ЕМ за критерієм мінімуму технологічних втрат активної потужності при її транспортуванні та розподілу для ЕЕС в цілому, що й обґрунтовує вдосконалення структури ПЛ з позицій системного підходу.

4. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРУКТУРИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ НА БАЗІ УНІФІКАЦІЇ

4.1. Ефективність вдосконалення структури повітряних ліній на стадіях будівництва та експлуатації електричних мереж

4.1.1. Доцільність інвестування при використанні оптимального параметричного ряду перерізів проводів повітряних ліній

Рациональне приведення до найменшої кількості типорозмірів, марок, форм і т.п. різних видів продукції й засобів виробництва є одним з методів стандартизації. Це дає можливість у процесі проектування, будівництва та експлуатації об'єктів ЕЕС, очікувати одержання істотного прибутку, що адекватно підвищенню ефективності використання матеріальних, сировинних, трудових, фінансових і природних ресурсів.

Оцінити та порівняти ступінь ефективності інвестування технічних рішень і організаційних заходів при будівництві й експлуатації різних господарських об'єктів, у тому числі й об'єктів енергетики, дає змогу чинна методика визначення прямих і непрямих показників економічної ефективності інвестицій в енергетику [17, 18, 64].

Для визначення ефективності вдосконалення структури ПЛ доцільно виконати порівняння економічної ефективності інвестування розвитку ЕМ з використанням існуючого параметричного ряду перерізів проводів ПЛ і оптимального (розділі 3.4).

В основу розрахунків покладені аналітичні вирази діючої методики визначення економічної ефективності інвестування об'єктів енергетики в умовах ринкової економіки за такими показниками, як чистий дисконтований прибуток (ЧДП) і внутрішня норма прибутковості (ВНП). Крім того, передбачається наявність позитивного річного економічного ефекту від виробництва й експлуатації

вдосконалених ПЛ. Порівняння ефективності однакових варіантів виконується з урахуванням критерію дисконтованих витрат, враховуючи, що величина надходжень від передачі електричної енергії в ринкових умовах є величиною інваріантною [14, 65].

Для оцінки масштабності інвестиційного проекту й одержаного прибутку від його впровадження використовуємо показник ЧДП, який для ПЛ i -го класу напруги обчислюється за формулою:

$$\Pi_{dpi} = \sum_{t=0}^{15} \frac{\Pi_{pti}}{(1+E)^t}, \quad (4.1)$$

де Π_{dpi} — дисконтований річний чистий прибуток для ПЛ i -го класу напруги, тис. грн.;

t — роки реалізації інвестиційного проекту, включаючи етап будівництва, років;

Π_{pti} — чистий потік платежів у році t для ПЛ i -го класу напруги, тис. грн.;

E — ставка дисконтування, в.о.

При цьому для обліку інфляції в умовах ринкової економіки доцільно застосувати показник чистого потоку платежів (ЧПП). ЧПП у t році для ПЛ i -го класу напруги залежить від прибутку цього року за винятком щорічних витрат без амортизаційних відрахувань, плати за кредит з урахуванням інфляції, амортизаційних відрахувань на реновацію основних фондів з урахуванням дисконтування й витрат на втрати у ПЛ:

$$\begin{aligned} \Pi_{pti} = & 2,5 U I_{ii} \beta_i (\tau_i + 584) \cos_i \varphi - \left\{ p_e K_{ii} + \left[(E_n + 100)(\alpha + 100)^{-1} - 1 \right] K_{ii} + \right. \\ & + \left. \left[(E_n + 100)(\alpha + 100)^{-1} - 1 \right] K_{ii} \left\langle \left[1 + \left| (E_n + 100)(\alpha + 100)^{-1} - 1 \right| \right]^{15} - 1 \right\rangle^{-1} + \right. \\ & \left. 3 C_{\wedge i} I_{ii}^2 \rho \ell F^{-1} (\tau_i + k_{pi} 8760) \right\}, \end{aligned} \quad (4.2)$$

де Π_{dpi} — дисконтований річний чистий прибуток для i -го класу напруги, тис. грн.;

U — напруга ПЛ, кВ;

I_{ti} — струм у році t лінії електропередачі i -го класу напруги, А;
 $\cos_i \varphi$ — коефіцієнт потужності;
 β_i — надходження за передачу електроенергії i -го класу напруги, к/кВт×год;
 τ_i — тривалість часу максимальних витрат i -го класу напруги, год.;
 p_e — норма щорічних витрат на обслуговування й поточний ремонт, в. о.;
 K_{ti} — інвестиції в році t для i -го класу напруги тис. грн./км;
 E_n — номінальний норматив дисконтування, %;
 α — темп інфляції, %;
 $C_{\wedge i}$ — вартість витрат i -го класу напруги, к/кВт×год;
 ρ — питомий опір, Ом×мм²/км;
 ℓ — довжина ПЛ, км;
 F — переріз проводу, мм²;
 k_{pi} — показник витрат на корону i -го класу напруги [14].

Дисконтована рентабельність інвестицій для ПЛ i -го класу напруги визначається за виразом:

$$R_{idk} = \Pi_{dpi} / \sum_{t=0}^{15} \left\langle K_{ti} \left\{ 1 + \left[(E_n + 100) / (\alpha + 100) - 1 \right] \right\}^{-t} \right\rangle, \quad (4.3)$$

де R_{idk} — дисконтована рентабельність інвестицій ПЛ i -го класу напруги;
 Π_{dpi} — дисконтований чистий прибуток для i -го класу напруги, тис. грн.;
 K_{ti} — інвестиції в році t для i -го класу напруги тис. грн./км;
 E_n — номінальний норматив дисконтування, %;
 α — темп інфляції, %;
 t — роки реалізації інвестиційного проекту, включаючи етап будівництва, роки.

Загальна рентабельність із прибутку для ПЛ i -го класу напруги обчислюється за формулою:

$$R_{d\Pi i} = \frac{\sum_{t=0}^{15} \Pi_{dpi}}{\sum_{t=0}^{15} (B_{ti} + K_{ti}) / (1 + E)^t}, \quad (4.4)$$

де $R_{d\Pi i}$ — рентабельність із прибутку;

Π_{dpi} — дисконтований річний чистий прибуток для i -го класу напруги, тис. грн.;
 B_{ti} — збільшення витрат року t ПЛ i -го класу напруги;
 K_{ti} — інвестиції в році t для i -го класу напруги тис. грн./км;
 E — ставка дисконтування, відн. од. [14].

Для визначення прибутковості одиниці вкладеного капіталу скористаємося показником внутрішньої норми рентабельності (ВНР). Цей показник для ПЛ i -го класу напруги визначається при вирішенні рівняння щодо невідомої величини IRR_i для i -го класу напруги:

$$\sum_{t=0}^{15} \frac{\Pi_{dti}}{(1 + IRR_i)^t} = 0, \quad (4.5)$$

де Π_{dpi} — дисконтований річний чистий прибуток для i -го класу напруги, тис. грн.;

IRR_i — внутрішня норма рентабельності.

Дисконтовані витрати представляють суму річних витрат і нормативного прибутку, і визначаються за виразом:

$$3_{id} = \sum_{t=1}^{15} \frac{\left[(E_n + 100) / (\alpha + 100) - 1 \right] K_{ti} + \Delta B_{ti}}{\left\{ 1 + \left[(E_n + 100) / (\alpha + 100) - 1 \right] \right\}^t}, \quad (4.6)$$

де 3_{id} — наведені витрати, тис. грн./км;
 t — роки реалізації інвестиційного проекту, включаючи етап будівництва, роки;
 E_n — номінальний норматив дисконтування, %;
 $\Delta B_{ti} = B_t - B_{t-1}$ — збільшення витрат року t в порівнянні з попереднім роком $t - 1$ (з відповідним знаком) [14].

Умови, при яких визначається ефективність і розробляється порівняння ПЛ із оптимальним параметричним рядом перерізів проводів та ПЛ з існуючим параметричним рядом:

— навантаження в обох варіантах однакове й залишається таким же до кінця розрахункового періоду;

- нерівномірна зміна витрат в процесі всього експлуатаційного періоду ПЛ;
- термін підсумку витрат приймається рівним нормативному терміну служби лінії [23];
- коефіцієнт дисконтування протягом нормативного терміну експлуатації ПЛ є незмінним і дорівнює 10 %;
- розрахунок втрат енергії приведено на 1 км довжини ПЛ;
- розмір інвестицій у будівництво ПЛ визначений за укрупненими базовими техніко-економічними показниками [17–19].

Для визначення економічної ефективності вдосконалення ПЛ були використані вирази (4.1–4.6).

Розрахунок виконувався за допомогою прикладної комп’ютерної програми *Mathcad* [54]. Значення коефіцієнтів, що входять в моделі (4.1–4.5) для ПЛ i -го класу напруги, наведені в табл. 4.1. і 4.2

Таблиця 4.1

Дані показників моделі (4.1–4.5)

U , кВ	35	110	330	750
I_{\min} , А	56	59	491	1800
I_{\max} , А	151	213	893	2200
T_{\max} , год.	4102	4612	4612	6684
τ , год.	2500	3000	3000	5500
τ_k , год.	0	1051	1051	1296
E , %	10	10	10	10
P_e , %	1	1	1	1
C_n , к./кВт год.	3,6	3,4	3,4	2,6
C_e , к./кВт год.	2,4	0,06	0,025	0,008

Порівняльний аналіз даних в табл. 4.1 і 4.2 дає можливість зробити висновок, що вдосконалені ПЛ мають достатньо високі показники економічної ефективності інвестицій в порівнянні з існуючими ПЛ. Залежно від норми дисконтування чистий наведений

прибуток буде різний. Для вдосконалених ПЛ i -го класу напруги внутрішня норма рентабельності вища, отже, й інвестиції вкладені у вдосконалення ПЛ, будуть мати більший ефект при більших ставках позичкового відсотка.

Таблиця 4.2

Показники економічної ефективності інвестицій у ПЛ з оптимальним параметричним рядом (вдосконала ПЛ) і ПЛ з існуючим параметричним (існуюча ПЛ)

U , кВ		ΔA	$\sum P_{dti}$	R_{ido}	R_{ipi}	3_{io}	IRR
35	Вдосконала ПЛ	0,4555	19,7	1,6	0,6	3,87	1,0
	Існуюча ПЛ	0,547	18,71	1,5	0,5	4,0	0,98
110	Вдосконала ПЛ	1,02	15,5	0,89	0,3	5,96	0,59
	Існуюча ПЛ	1,65	7,11	0,41	0,12	7,04	0,39
330	Вдосконала ПЛ	3,64	168,97	3,07	0,99	19,6	2,6
	Існуюча ПЛ	4,73	154,9	2,89	0,84	21,3	2,57
750	Вдосконала ПЛ	15,7	452,2	3,13	0,91	56,5	3,72
	Існуюча ПЛ	29,47	321,3	2,66	0,53	70,35	3,40

Таким чином, в варіант розвитку ЕЕС із застосуванням оптимального параметричного ряду перерізів проводів ПЛ доцільніше інвестувати чим в варіант з існуючою шкалою перерізів проводів ПЛ.

4.1.2. Аналіз регламенту реконструкцій повітряних ліній при використанні оптимального параметричного ряду перерізів проводів

Час заміни одних перерізів проводів на інші з метою зміни пропускної здатності ПЛ для економічного транспортування та розподілу електроенергії є час реконструкції об’єкта. Таким чином, час реконструкції ПЛ пов’язаний зі шкалою перерізів проводів [37, 43, 45, 46, 65].

Закон зміни потужності у відносних одиницях для i — го класу напруги має вигляд:

$$P_i = P_{0i} (1 + q_i)^t, \quad (4.7)$$

где q_i — зміна електричного навантаження;
 P_{0i} — початкова щільність навантаження.

У розділі 3 була отримані залежності перерізів проводів і потужності у відносних одиницях для i -го класу напруги. Використовуючи залежність, представлену в табл. 3.2 і модель (4.7), доцільно провести дослідження залежності закону зміни потужності у відносних одиницях для i — го класу напруги та j — похибки експлуатаційних характеристик.

Отримані залежності представлені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Залежність відносного значення перерізу проводу від зміни навантаження ПЛ 35–750 кВ

$U, \text{кВ}$	35	110	330	750
$P_{0i} (1 + q_i)^t$	$F_j^{0,91}$	$F_j^{0,76}$	$F_j^{1,09}$	$F_j^{2,08}$

Залежності (табл. 4.4) показують, як залежить відносне значення перерізу проводу F від зміни навантаження в i -го класу напруги. Якщо в якості базисного прийняти значення перерізу проводу, що припадає на перший рік будівництва та експлуатації ПЛ, то співставлення

$$\frac{F_2}{F_b} = F \quad (4.8)$$

представляє коефіцієнт наростання шкали перерізів проводів.

Для аналізу терміну реконструкції ПЛ використовуються дві шкали перерізів проводів з коефіцієнтами:

— F_1 — коефіцієнт наростання існуючої шкали перерізів проводів;

— F_{2j} — коефіцієнт наростання оптимальної шкали перерізів проводів i -го класу напруги та j — похибки експлуатаційних характеристик, від яких залежить F . Також темпи зміни навантажень для першого і другого варіанту — однакові.

Тоді згідно (4.7–4.8):

$$P(1 + q)^{t_1} = F^n \quad (4.9)$$

та

$$P(1 + q)^{t_2} = F^n. \quad (4.10)$$

Згідно з табл. 4.4 і (4.9–4.10) були отримані вирази, які представлені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Залежності зміни коефіцієнтів наростання шкали перерізів проводів F_1 і F_{2j} від зміни темпів навантаження

$U, \text{кВ}$	35	110	330	750
$P_{0i} (1 + q_i)^{t_1}$	$F_1^{0,91}$	$F_1^{0,76}$	$F_1^{1,09}$	$F_1^{2,08}$
$P_{0i} (1 + q_i)^{t_2}$	$F_{2j}^{0,91}$	$F_{2j}^{0,76}$	$F_{2j}^{1,09}$	$F_{2j}^{2,08}$

За виразами табл. 4.4 визначається час реконструкції для ПЛ i -го класу напруги, яке обумовлено пропускною здатністю ПЛ і заданим темпом навантаження q . Вважаючи, що $P_{0i} = 1$, так як відноситься до початку експлуатації ПЛ, то термін реконструкції ПЛ i -го класу напруги представляє залежності, які зведені в табл. 4.5.

Аналізуючи табл. 4.5 можна простежити залежність терміну реконструкції ПЛ від коефіцієнта наростання шкали перерізів проводів i -го класу напруги та j -похибки експлуатаційних характеристик, які впливають на F . Так, при збільшенні похибки експлуатаційних характеристик коефіцієнт наростання шкали перерізів

проводів збільшується (р. 3.3), відповідно збільшується і регламент реконструкції ПЛ в своєму класі напруги. А зі збільшенням напруги коефіцієнт наростання шкали перерізів проводів зменшується (р. 3.3), відповідно зменшується і регламент реконструкції ПЛ в своєму класі напруги.

Таблиця 4.5

Термін реконструкції ПЛ i -го класу напруги

U , кВ	35	110	330	750
t_0	$\frac{0,911 \lg F_j}{\lg(1+q)}$	$\frac{0,76 \lg F_j}{\lg(1+q)}$	$\frac{1,09 \lg F_j}{\lg(1+q)}$	$\frac{2,08 \lg F_j}{\lg(1+q)}$

З залежностей табл. 4.6 можна отримати інтервал від початку експлуатації до першої реконструкції ПЛ i -го класу напруги, який представляє собою залежність

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\ln F_{2j}}{n F_{1*}} = \text{idem}. \quad (4.11)$$

В даному виразі t визначає інтервал від початку експлуатації до першої реконструкції.

Вираз (4.11) не залежить від темпів навантаження і визначається тільки обраною шкалою перерізів проводів. Якщо взяти коефіцієнт наростання $F_{1*} = 1,4$ існуючої на сьогодні шкали перерізів проводів і запропонований в р.3.3 коефіцієнт F_{2j*} i -го класу напруги та j -похибки експлуатаційних характеристик, то можна визначити у скільки разів збільшиться термін реконструкції ПЛ. Дані розрахунку представлені в табл. 4.6 і зображені на рис. 4.1, 4.2 та в табл. 4.7 і рис. 4.3 4.4.

Таблиця 4.6

Термін реконструкції ПЛ i -го класу напруги розподільних ЕМ залежно від коефіцієнта наростання шкали перерізів проводів

U , кВ	35 кВ			110 кВ		
δ , %	F_{1*}	F_{2*}	t	F_{1*}	F_{2*}	t
3	1,4	1,33	0,85	1,4	1,33	0,85
4	1,4	1,44	1,1	1,4	1,44	1,08
5	1,4	1,55	1,3	1,4	1,55	1,3
6	1,4	1,66	1,51	1,4	1,67	1,52
7	1,4	1,78	1,71	1,4	1,78	1,71
8	1,4	1,9	1,91	1,4	1,9	1,91
9	1,4	2,03	2,1	1,4	2,03	2,1
10	1,4	2,16	2,3	1,4	2,2	2,34

З аналізу даних табл. 4.6 і 4.7 та рис. 4.1–4.4 випливає, що зі збільшенням коефіцієнта наростання шкали перерізів проводів термін до першої реконструкції збільшується для всіх класів напруги, тобто застосування оптимальної шкали перерізів проводів дозволяє звести до мінімуму і число реконструкцій ПЛ.

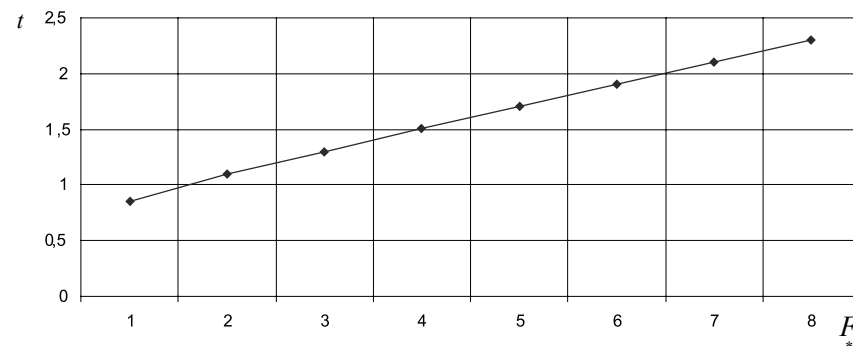


Рис. 4.1. Термін реконструкції t ПЛ 35 кВ залежно від коефіцієнта наростання шкали перерізів проводів F_*

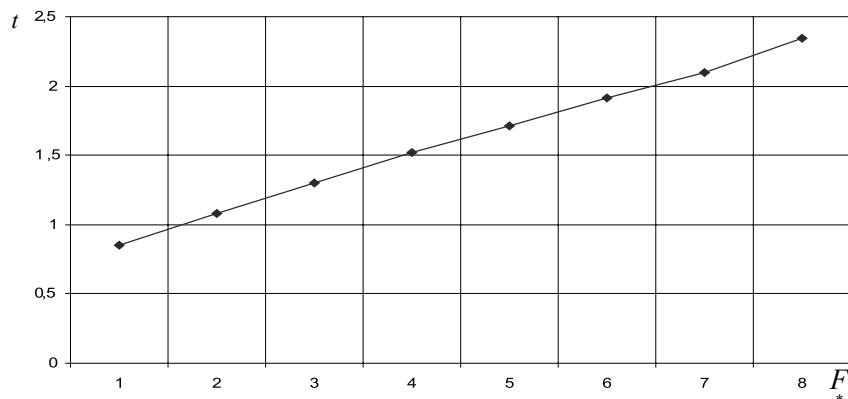


Рис. 4.2. Термін реконструкції t ПЛ 110 кВ залежно від коефіцієнта наростання шкали перерізів проводів F_*

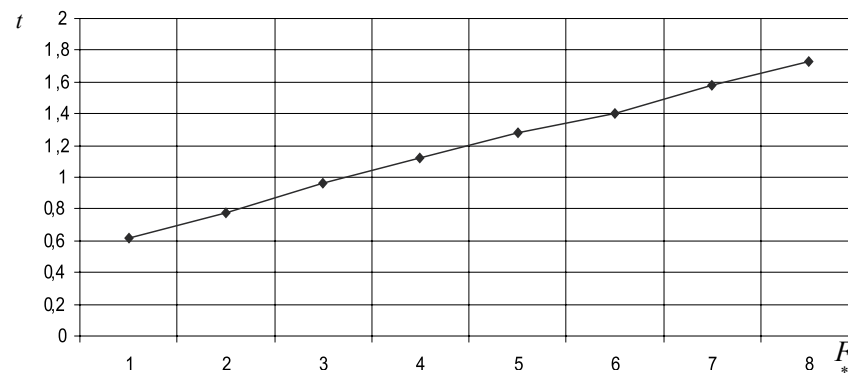


Рис. 4.3. Термін реконструкції t ПЛ 330 кВ залежно від коефіцієнта наростання шкали перерізів проводів F_*

Таблиця 4.7

Термін реконструкції ПЛ i -го класу напруги системоутворюючих ЕМ залежно від коефіцієнта наростання шкали перерізів проводів

U , кВ	330 кВ			750 кВ		
δ , %	F_{1*}	F_{2*}	t	F_{1*}	F_{2*}	t
3	1,4	1,23	0,62	1,4	1,12	0,34
4	1,4	1,3	0,78	1,4	1,16	0,44
5	1,4	1,38	0,96	1,4	1,2	0,54
6	1,4	1,46	1,12	1,4	1,24	0,64
7	1,4	1,54	1,28	1,4	1,28	0,73
8	1,4	1,6	1,4	1,4	1,32	0,83
9	1,4	1,7	1,58	1,4	1,36	0,91
10	1,4	1,79	1,73	1,4	1,4	1,0

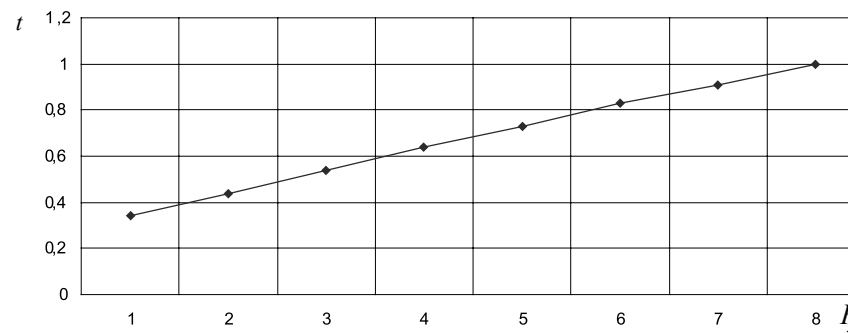


Рис. 4.4. Термін реконструкції t ПЛ 750 кВ залежно від коефіцієнта наростання шкали перерізів проводів F_*

Використовуючи системний підхід при аналізі даних табл. 4.6 і 4.7 та рис. 4.1–4.4 можна визначити усереднений термін реконструкції для ЕЕС в цілому.

Відповідно до (4.7–4.11) і отриманими результатами

$$P_{*}(1+q)^{t_1} = F_{*}^{0,625} = \text{idem} \quad (4.12)$$

і

$$P_{*}(1+q)^{t_2} = F_{*}^{0,625} = \text{idem}. \quad (4.13)$$

З (4.12) і (4.13) випливає, що термін реконструкції, який обумовлено пропускнуою здатністю ПЛ і зміною навантаження q при $P_0^* = 1$, так як відноситься до початку експлуатації ПЛ, буде

$$t_0 = 0,625 \frac{\ln F^*}{\ln(1+q)}. \quad (4.14)$$

Аналогічно отримане співвідношення

$$\frac{t_2}{t_1} = \frac{\ln 2}{\ln 1,4} = 2. \quad (4.15)$$

Результати розрахунку показали, що термін до необхідної реконструкції збільшується в 2 рази, якщо використовувати оптимальну шкалу перерізів проводів з коефіцієнтом $F_2^* = 2$, що, відповідно, зменшує періодичність реконструкцій ПЛ.

Таким чином, оптимізація параметричного ряду перерізів проводів, яка є основою уніфікації ПЛ, дозволяє скорегувати термін регламенту реконструкції.

4.1.3. Вплив вдосконалення структури повітряних ліній на параметри режиму роботи електроенергетичної системи

В процесі експлуатації ПЛ основними складовими економічного ефекту є:

- зниження всіх різновидів втрат у лініях i -го класу напруг;
- зниження витрат на реконструкцію ПЛ;
- зниження витрат на після аварійне відновлення електропостачання;
- підвищення надійності енергетичної системи;
- зниження рівня шкідливого впливу на навколишнє середовище і т. п. [14]

Потужність, що транспортується та розподіляється по ПЛ, має відповідати умовам економічності роботи ЕЕС. При цьому слід врахувати можливість поступового розвитку ПЛ з урахуванням темпів

зростання навантаження, для вкладання коштів в удосконалення та розширення можливостей ПЛ по мірі їх розвитку.

Обмеження, пов'язані з факторами економічного характеру, при транспортуванні та розподілі потужності обумовлюються одноразовими інвестиційними вкладеннями й щорічними витратами, необхідними для експлуатації ПЛ і підвищенням вартості втрат активної потужності (електроенергії).

Вартість втрат активної потужності при транспортуванні та розподілу в ЕМ визначається як:

$$B_{\Pi t} = \Delta P_i \cdot \Pi, \quad (4.16)$$

де $B_{\Pi t}$ — вартість втрат, тис. грн.;

ΔP_i — втрати потужності при транспортуванні та розподілу ПЛ відповідних ЕМ ЕЕС, МВт;

Π — тариф на транспортування та розподіл потужності, грн./МВт [63–65].

Враховуючи, що ЕЕС функціонує в умовах ринку електроенергії, тариф на транспортування й розподіл потужності не являється постійною величиною, а змінюється залежно від попиту, темпу інфляції і т.п. Так, на жовтень 2016 р., відповідно з [64], тариф на транспортування потужності ПЛ 750–330 кВ становив 1960 грн/МВт, а на розподіл потужності ПЛ 110 кВ — 1570 грн/МВт.

У розділі 1.6 (табл. 1.5, 1.6) представлені величини втрат активної потужності по ПЗЕС до оптимізації параметричних рядів проводів ПЛ, а в розділах 2.4 (табл. 2.12, 2.13, 2.15, 2.16) і 3.4 (табл. 3.9, 3.10, 3.12, 3.13) представлені величини втрат активної потужності після оптимізації ПЛ ПЗЕС. Використовуючи ці дані і [63, 64] за допомогою прикладної комп'ютерної програми *Mathcad* [54] було визначено вартість втрат активної потужності.

Результати розрахунку представлені в табл. 4.8 і 4.9.

Економічна ефективність оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ визначалась відповідно даних розділів 1.6 (табл. 1.5, 1.6); 2.4 (табл. 2.12, 2.13, 2.15, 2.16) і 3.4 (табл. 3.9, 3.10, 3.12, 3.13) та табл. 4.8, 4.9 за допомогою прикладної комп'ютерної програми *Mathcad* [54].

Таблиця 4.8

Вартість втрат активної потужності (ΔP , МВт) по ПЗЕС після оптимізації перерізів проводів ПЛ 750–330–110 кВ, тис. грн.

U, кВ	ΔP (після оптимі- зації 750 кВ)	ΔP (після оптиміза- ції 330 кВ)	ΔP (після опти- мізації 750–330 кВ)	ΔP (після оптиміза- ції 110 кВ)	ΔP (після опти- мізації 330–110 кВ)	ΔP (після опти- мізації 110–330– 750 кВ)
750– 330– 110	8 369,2	28 565,04	36 763,72	1 427,16	30 287,88	38 380,22

Таблиця 4.9

Вартість втрат активної потужності (ΔP) по ПЗЕС після оптимізації перерізів проводів ПЛ 750–330–110 кВ, відн.од. (%)

U, кВ	ΔP (після оптимі- зації 750 кВ)	ΔP (після оптимі- зації 330 кВ)	ΔP (після опти- мізації 750–330 кВ)	ΔP (після оптиміза- ції 110 кВ)	ΔP (після опти- мізації 330–110 кВ)	ΔP (після опти- мізації 110–330– 750 кВ)
750– 330– 110	3,55	2,72	2,38	3,82	2,64	2,31

Результати розрахунку представлені в табл. 4.10.

Таблиця 4.10

Економічна ефективність оптимізації параметричного ряду перерізів проводів ПЛ 750–330–110 кВ, відн.од. (%)

U, кВ	ΔP (після оптимі- зації 750 кВ)	ΔP (після оптимі- зації 330 кВ)	ΔP (після опти- мізації 750–330 кВ)	ΔP (після оптимі- зації 110 кВ)	ΔP (після опти- мізації 330–110 кВ)	ΔP (після опти- мізації 110–330– 750 кВ)
750– 330– 110	0,37	1,2	1,54	0,1	1,28	1,61

Аналіз табл. 4.10 підтверджує, що оптимізація параметричного ряду перерізів проводів ПЛ має найбільший економічний ефект за критерієм мінімум технологічних втрат активної потужності при системному підході.

4.2. Ефективність оптимізації структури повітряних ліній на стадії виробництва проводів в ринкових умовах

Ефективність оптимізації елементів ПЛ на стадії виробництва реалізується за рахунок переваг, обумовлених збільшенням обсягу виготовлення однотипних виробів, а також збільшенням їхньої серійності.

В основі одержання економічного ефекту на стадії виробництва проводів доцільно науково обґрунтувати номенклатуру оптимального параметричного ряду перерізів проводів, що дозволить:

- зниження трудомісткості;
- зниження собівартості одиниці продукції;
- зменшення типоряду марок і перерізів проводів, котрі повністю задовольняють технологічні потреби будівництва ПЛ.

Перелічені вище переваги дозволять:

- застосовувати менш витратні та високопродуктивні методи виготовлення;
- підвищити завантаження устаткування і коефіцієнт змінності;
- скоротити частку умовно-постійної частини витрат на виробництво одиниці продукції [14].

Як базовий варіант порівняння приймаються існуючі ПЛ — варіант 1, вдосконалені ПЛ — варіант 2.

В порівнюваних варіантах:

- довжина ліній однакова;
- коефіцієнт обліку зростання продуктивності дорівнює одиниці;
- ермін служби ПЛ та річні експлуатаційні витрати і супутні інвестиції в процесі експлуатації при порівнянні існуючих і вдосконалених ПЛ однакові.

Оскільки при будівництві вдосконалених ПЛ застосовується менша кількість перерізів і марок проводів, для виробництва яких не потрібно додаткового інвестування, то можна вважати, що:

$$Z_1 = C_1 + EK, \quad Z_2 = C_2 + EK, \quad (4.17)$$

де Z_1 і Z_2 — затрати на виробництво одиниці продукції, грн.;

C_1 і C_2 — собівартість 1 кг проводів для вдосконалених та існуючих ПЛ, грн.;

E — банківська процентна ставка, %;

K — інвестиції у виробничі фонди, грн. [14].

Для розрахунку економії від вдосконалення ПЛ в стадії виробництва використовується вираз:

$$E_{ni} = (C_1 - C_2)m_2, \quad (4.18)$$

де E_{ni} — економічний ефект від вдосконалення на стадії виробництва ПЛ для i -го класу напруги, грн.;

m_2 — маса алюмінію, необхідного для спорудження уніфікованої ПЛ i -го класу напруги, кг.

Ступінь зниження собівартості визначається за виразом:

$$C_2 = C_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^X = K_X C_1, \quad (4.19)$$

де C_2 , C_1 — собівартість елементів, грн./кг;

N_1 і N_2 — річна програма виробництва елементів;

K_X — коефіцієнт серійності, визначається як відношення планованого обсягу випуску оптимальних перерізів проводів до існуючих у відн.од. Для кожного класу напруги значення K_X наведено в табл. 4.11.

Таблиця 4.11

Коефіцієнт серійності для кожного класу напруги

Клас напруги, кВ	35	110	330	750
Коефіцієнт серійності, K_X	0,51	0,57	0,43	0,4

X — показник ступеня, що характеризує інтенсивність технічного прогресу у виробництві даних елементів, залежить від безлічі факторів і в загальному випадку визначається для конкретного виробництва. У нашому випадку $X = 0,2 \div 0,6$ [14].

Необхідна маса алюмінію визначається за формулою:

$$M_i = mL_i \frac{n_i}{100}, \quad (4.20)$$

де M_i — необхідна маса алюмінію ПЛ i -го класу напруги, кг;

m — маса алюмінієвої складової 1 км проводу даного перерізу, кг/км;

L_i — довжина ПЛ даного класу напруги, км;

n_i — довжина ПЛ i -го класу напруги даного перерізу, %.

Результати розрахунків маси алюмінію для існуючих ПЛ та вдосконалених ПЛ представлено в табл. 4.12 і 4.13.

Таблиця 4.12

Необхідна маса алюмінію для існуючих ПЛ

F , мм ²	50		70		95		120		185	
	L , %	M , кг	L , %	M , кг	L , %	M , кг	L , %	M , кг	L , %	M , кг
35 кВ	0,44	0,58	0,12	0,23	0,03	0,078	40,67	131,7	58,7	302,5

F , мм ²	120		150		185		240	
	L , %	M , кг	L , %	M , кг	L , %	M , кг	L , %	M , кг
110 кВ	32,5	105,3	26,7	108,67	5,3	27,3	25,5	171,62

F , мм ²	2x300		2x400	
	L , %	M , кг	L , %	M , кг
330 кВ	22,72	377,15	11,96	260,49

F , мм ²	5x300		5x400	
	L , %	M , кг	L , %	M , кг
750 кВ	41,04	1340,8	58,96	3134,3

Таблиця 4.13

Необхідна маса алюмінію для вдосконалених ПЛ

U , кВ	35 кВ		110 кВ	
F , мм ²	L , %	M , кг	L , %	M , кг
120	99,41	404,7	42,5	172,98
240	0,59	1,06	57,5	477,3

U , кВ	330 кВ (2 провoda)		750 кВ (5 проводів)	
F , мм ²	L , %	L , %	L , %	M , кг
400	100	3267	100	7442,4

Розрахунок річного ефекту вдосконалення ПЛ за рахунок оптимізації параметричного ряду перерізів проводів для кожного класу напруги розраховується за формулою:

$$E_{ni} = (C_1 - K_X C_1) M_y - C_1 (M_y - M_n) = C_1 (M_n - K_X M_y), \quad (4.21)$$

де E_{ni} — річний ефект для ПЛ i -го класу напруги, тис. грн.;

C_1 — собівартість елементів ПЛ (табл. 4.1);

K_X — коефіцієнт серійності, в.о. (табл. 4.11);

M_i — маса алюмінію проводів, необхідного для будівництва існуючих ПЛ даного класу напруги, кг (табл. 4.12);

M_y — маса алюмінію проводів, необхідного для будівництва вдосконалених ПЛ даного класу напруги, кг (табл. 4.13).

Розрахунки виконані за допомогою прикладної комп'ютерної програми *Mathcad*.

Результати розрахунків зведені в табл. 4.14.

Отримані результати розрахунків (табл. 4.14) підтверджують більшу ефективність інвестування в розвиток ЕЕС з використанням оптимального параметричного ряду перерізів проводів для ПЛ i -го класу напруги у порівнянні з існуючим параметричним рядом перерізів проводів.

Таблиця 4.14

Економічний ефект вдосконалення ПЛ на стадії виробництва 1 км проводу

Напруга кВ	Маса матеріалу, кг		Економічний ефект тис. грн
	Існуючі ПЛ	Вдосконалені ПЛ	
35	435,17	405,76	0,2864
110	412,89	650,28	0,053
330	2344,61	3267	1,1804
750	4475,1	7442,4	1,8817
			$\Sigma = 3,4015$

4.3. Взаємозв'язок техніко-економічних показників при вдосконаленні структури повітряних ліній

Для одержання економічного та технічного ефекту при оптимальних параметрах складної ЕЕС, необхідний пошук найбільш ефективних методів прийняття рішень. Застосування методів оптимізації ґрунтується на системному підході, суть якого полягає в комплексному розгляді всіх частин і всіх функцій системи при їхньому гармонійному поєднанні (рис. 1.6 та рис. 2.8).

При обґрунтуванні системного підходу ПЛ доцільно керуватися системою ієрархічно побудованих і взаємозалежних техніко-економічних моделей різних функціональних рівнів, при цьому стратегія пошуку ускладнюється неповнотою вихідної інформації й багатокритеріальністю, а також застосуванням методів багаторівневої оптимізації [7, 12, 13, 31, 32, 59–62].

Однією з особливостей прийняття рішень при виборі і обґрунтуванні оптимальної структури ПЛ в умовах узгодження й інтеграції економік різних країн є істотне підвищення рівня надійності ЕЕС, підвищення пропускної здатності ПЛ і зниження втрат енергії, зменшення негативного впливу на довкілля, стабільне та якісне електропостачання споживачів усіх категорій.

Одним із напрямків, який дозволяє враховувати вищеперелічені вимоги є вдосконалення структури об'єктів ЕЕС на базі уніфікації [37–39].

Основою вдосконалення структури ПЛ є рівень стандартизації і оптимізації параметричного ряду перерізів проводів, який відображає можливість використання типових конструктивних рішень при проектуванні, типових технологічних процесів, типового обладнання при виготовленні і ремонті ПЛ та формує основу уніфікації ПЛ [37–39, 45]. Ефективність уніфікації представлена розробленою структурною моделлю на рис. 4.5.

Аналіз розробленої структурної моделі (рис. 4.5) показав, що основу уніфікації становить оптимізація параметричного ряду перерізів проводів ПЛ, що дозволяє ще на стадії проектування сформувати базус для оптимального транспортування та розподілу електричної енергії в умовах балансуєного ринку електроенергії при експлуатації об'єкту.



Рис. 4.5. Структурна модель ефективності уніфікації в умовах балансуєного ринку електроенергії

Ефективність вдосконалення структури ПЛ на базі уніфікації найбільшою мірою виявляється в умовах системного підходу й забезпечує:

- скорочення термінів розробки і спорудження ПЛ за рахунок використання обмеженого числа конструкцій опор, фундаментів, марок проводів, ізоляції і арматури;
- зниження вартості спорудження ПЛ, у тому числі за рахунок конкуренції між окремими виготівниками елементів ПЛ;
- підвищення внутрішньої норми рентабельності, відповідно й інвестицій, які будуть мати більший ефект при більших ставках позичкового відсотка;
- зменшення помилок персоналу при будівництві і експлуатації ПЛ;
- збільшення експлуатаційного запасу окремих елементів ПЛ;
- продовження терміну до необхідної реконструкції, що, відповідно, зменшує періодичність реконструкцій ПЛ;
- зниження впливу неоднорідності ЕМ і відповідно зменшення технологічних втрат активної потужності при транспортуванні та розподілу;
- зменшення витрат на стадії виробництва проводів ПЛ;
- проведення якісного контролю надійності елементів ПЛ при їх виготовленні.

До недоліків вдосконалення структури ПЛ на базі уніфікації слід віднести те, що при оцінці її економічного ефекту необхідно враховувати і негативні наслідки скорочення номенклатури проводів, що полягають в деякому погіршенні економічних показників споруджуваних ПЛ із-за збільшення середньої різниці між оптимальними розрахунковими і фактично вибраними перерізами проводів.

Але вказані недоліки не зменшують доцільності уніфікації, оскільки не порушується один із основних критеріїв в умовах балансуєного ринку електроенергії — критерій мінімуму дисконтованих витрат. Крім того значно покращуються технічні показники ЕЕС. Серед яких, зниження технологічних втрат активної потужності при збільшенні пропускної здатності ПЛ та продовження терміну в регламенті реконструкції, що позитивно відображається на експлуатаційних витратах.

Додаток А

Статистичні дані параметрів нормального режиму роботи

Південно-Західної енергосистеми

СУММАРНАЯ РАСЧЕТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

> МОЩНОСТЬ НАГРУЗКИ - $P = 1192.880 \text{ МВт}$, $Q = 2765.020 \text{ МВАр}$
 > МОЩНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ - $P = 1241.092 \text{ МВт}$, $Q = 283.705 \text{ МВАр}$
 > ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ $P = 1241.153 \text{ МВт}$, $Q = 284.136 \text{ МВАр}$
 СУММАРНЫЕ ПОТЕРИ - $dP = 48.273 \text{ МВт}$, $dQ = -2480.884 \text{ МВАр}$

ПОТЕРИ В СЕТИ 35 - 750 кВ:

> ЛИНИИ - $dP = 39.840 \text{ МВт}$, $dQ = 310.528 \text{ МВАр}$
 корона,шунтВЛ/Зар - $dP = -0.000 \text{ МВт}$, $dQ = -4565.884 \text{ МВАр}$
 > ТРАНСФОРМАТОРЫ - $dP = 3.202 \text{ МВт}$, $dQ = 179.903 \text{ МВАр}$
 шунт АТ - $P_{ш} = 5.231 \text{ МВт}$, $Q_{ш} = 31.444 \text{ МВАр}$
 > ШУНТ УЗЛА - $P_{ш} = 0.000 \text{ МВт}$, $Q_{ш} = 1563.126 \text{ МВАр}$
 > СУММА - $dP = 48.273 \text{ МВт}$, $dQ = -2480.884 \text{ МВАр}$

Потери в сети 110 кВ :

> линии - $dP = 4.763 \text{ МВт}$, $dQ = 9.889 \text{ МВАр}$
 корона,шунтВЛ/Зар - $dP = -0.000 \text{ МВт}$, $dQ = -205.149 \text{ МВАр}$
 > трансформаторы - $dP = 0.264 \text{ МВт}$, $dQ = 8.564 \text{ МВАр}$
 шунт АТ - $P_{ш} = 0.221 \text{ МВт}$, $Q_{ш} = 1.820 \text{ МВАр}$
 > сумма - $dP = 5.247 \text{ МВт}$, $dQ = -184.876 \text{ МВАр}$

Потери в сети 330 кВ :

> линии - $dP = 29.513 \text{ МВт}$, $dQ = 205.166 \text{ МВАр}$
 корона,шунтВЛ/Зар - $dP = -0.000 \text{ МВт}$, $dQ = -814.315 \text{ МВАр}$
 > трансформаторы - $dP = 1.774 \text{ МВт}$, $dQ = 103.917 \text{ МВАр}$
 шунт АТ - $P_{ш} = 3.666 \text{ МВт}$, $Q_{ш} = 23.173 \text{ МВАр}$
 > сумма - $dP = 34.953 \text{ МВт}$, $dQ = -482.058 \text{ МВАр}$

Потери в сети 750 кВ :

> линии - $dP = 5.565 \text{ МВт}$, $dQ = 95.473 \text{ МВАр}$
 корона,шунтВЛ/Зар - $dP = -0.000 \text{ МВт}$, $dQ = -3546.421 \text{ МВАр}$
 > трансформаторы - $dP = 1.164 \text{ МВт}$, $dQ = 67.421 \text{ МВАр}$
 шунт АТ - $P_{ш} = 1.344 \text{ МВт}$, $Q_{ш} = 6.451 \text{ МВАр}$
 > шунт узла - $P_{ш} = 0.000 \text{ МВт}$, $Q_{ш} = 1563.126 \text{ МВАр}$
 > сумма - $dP = 8.073 \text{ МВт}$, $dQ = -1813.950 \text{ МВАр}$

№ нач	№ кон	Рнач МВт	Ркон МВт	dP МВт	Ин кА	Ik кА	Qнач МВАр	Qкон МВАр	dQ МВАр	Qзар МВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
82601	82501	40,51	-40,34	0,174	0,088	0,257	36,14	-33,61	2,095	0,43
1100	6500	5,4	-5,4	0	0,027	0,027	0,46	-0,46	0	0
3800	9300	5,87	-5,86	0,006	0,031	0,032	2,26	-2,7	0,015	-0,45
9300	7100	2,46	-2,46	0	0,014	0,014	1,22	-1,23	0	-0,01
3200	7800	4,74	-4,74	0,001	0,025	0,025	1,63	-1,75	0,003	-0,12
7300	7400	2,83	-2,83	0,002	0,015	0,016	0,85	-1,55	0,006	-0,7
7000	3800	5,97	-5,97	0,003	0,032	0,032	2,16	-2,36	0,007	-0,22
6600	9300	-3,4	3,4	0	0,019	0,018	-1,5	1,49	0	-0,01
7400	4200	9,5	-9,5	0,001	0,052	0,052	4,08	-4,1	0,002	-0,02
7100	3700	6	-6	0	0,033	0,033	2,78	-2,8	0,001	-0,02
4500	7600	0	0	0	0	0	0	-0,01	0	-0,01
3300	7800	0	0	0	0	0	0	-0,01	0	-0,01
7400	4400	-6,67	6,68	0,002	0,036	0,035	-2,53	2,41	0,006	-0,13
7600	4400	6,98	-6,98	0,002	0,037	0,037	2,42	-2,51	0,004	-0,09
14300	10400	-3,6	3,6	0	0,018	0,018	-0,36	0,36	0	0
10200	16000	3,07	-3,07	0	0,015	0,015	-0,06	0,06	0	0
82201	82302	-108	108,4	0,33	0,196	0,613	-52,62	59,97	6,781	0,58
80103	80205	38,26	-38,08	0,185	0,062	0,189	-1,22	2,47	0,673	0,58
80103	80205	37,9	-37,73	0,172	0,062	0,187	-1,02	2,43	0,667	0,74
10700	15600	0,87	-0,87	0	0,004	0,004	-0,23	0,23	0	0
81805	81902	35,7	-35,55	0,146	0,063	0,187	14,75	-13,3	1,045	0,41
600	700	5,5	-5,5	0,003	0,029	0,03	2,22	-2,4	0,006	-0,19
2300	800	0,9	-0,9	0	0,005	0,005	0,31	-0,5	0	-0,19
15900	10400	-3,8	3,81	0,008	0,021	0,019	-1,9	0,73	0,016	-1,19
9000	9500	0,2	-0,2	0	0,007	0,001	-1,5	0,08	0,001	-1,42
8600	400	0	0	0	0,001	0	-0,1	0	0	-0,1
3000	14300	-1,1	1,1	0,001	0,006	0,007	-0,5	-0,84	0,001	-1,34
15000	11900	6,63	-6,61	0,02	0,034	0,033	-1,64	0,57	0,042	-1,11
11900	13900	2,91	-2,9	0,005	0,019	0,016	-2,37	1,34	0,01	-1,04
10800	14100	1,76	-1,76	0,001	0,009	0,01	0,64	-1,07	0,001	-0,43
10900	11000	-2,74	2,74	0,005	0,014	0,016	0,27	-1,66	0,01	-1,4
14000	10700	2,67	-2,67	0,002	0,013	0,014	0,01	-0,67	0,004	-0,67
10200	10100	-4,77	4,78	0,006	0,025	0,026	1,66	-2,23	0,013	-0,58
16000	14000	3,07	-3,07	0,001	0,015	0,015	-0,06	-0,21	0,002	-0,27
15600	10800	3,27	-3,26	0,004	0,017	0,016	-1,19	0,26	0,009	-0,95
15200	14200	-1,24	1,24	0,001	0,006	0,007	-0,33	-0,63	0,001	-0,96

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14200	10900	-1,34	1,34	0	0,007	0,008	0,53	-0,97	0,001	-0,44
11000	11800	-5,95	5,95	0,009	0,03	0,03	1	-1,48	0,016	-0,49
11800	11700	-6,15	6,16	0,008	0,031	0,032	1,38	-1,74	0,013	-0,38
15600	13900	-2,4	2,4	0,002	0,013	0,014	0,97	-1,54	0,004	-0,58
11600	11500	3,91	-3,9	0,003	0,02	0,02	-1,11	0,64	0,006	-0,48
11500	11400	3,5	-3,5	0,003	0,018	0,017	-0,84	0,3	0,006	-0,55
11400	11300	2,5	-2,5	0,001	0,013	0,012	-0,8	0,29	0,003	-0,51
11300	11200	2,3	-2,3	0,001	0,012	0,011	-0,39	-0,12	0,002	-0,51
11200	11100	1,8	-1,8	0,001	0,009	0,009	-0,08	-0,55	0,002	-0,64
11100	16100	-0,1	0,1	0	0,004	0,001	-0,75	0,05	0	-0,69
12400	12600	-4,4	4,41	0,005	0,022	0,022	0,5	-1,18	0,011	-0,69
12600	1600	-4,51	4,51	0,005	0,023	0,023	1,08	-1,52	0,008	-0,45
12100	12200	-2	2	0,001	0,01	0,01	-0,22	-0,39	0,002	-0,61
1700	6500	0	0	0	0	0,007	0	-1,37	0,001	-1,37
6400	2300	12,2	-12,15	0,05	0,062	0,063	2,85	-3,29	0,072	-0,51
12400	8400	2,8	-2,8	0,002	0,014	0,014	-0,9	0,52	0,003	-0,39
8400	12200	2,5	-2,5	0	0,012	0,012	-0,29	0,19	0,001	-0,1
10200	12000	1,3	-1,3	0,001	0,011	0,009	-1,8	1,15	0,002	-0,65
12000	14500	1,3	-1,3	0,001	0,009	0,007	-1,15	0,37	0,002	-0,79
14500	6000	0,8	-0,8	0	0,005	0,004	-0,47	-0,1	0	-0,57
6000	6100	0,7	-0,7	0	0,003	0,004	0	-0,3	0	-0,3
5900	5500	4,12	-4,11	0,005	0,021	0,02	-0,81	0,2	0,009	-0,62
4900	4800	-2,9	2,91	0,003	0,015	0,016	0,69	-1,26	0,005	-0,58
13800	13700	0,7	-0,7	0	0,005	0,007	0,63	-1,27	0,001	-0,64
83700	13400	-12	12,04	0,04	0,06	0,06	1,05	-1,53	0,068	-0,54
2800	83700	-3,98	4	0,023	0,029	0,036	4,4	-6,05	0,059	-1,72
81001	81102	27,3	-27,16	0,135	0,045	0,131	4,72	-3,02	0,54	1,16
30700	38800	-3,4	3,4	0	0,018	0,018	-1,7	1,66	0	-0,04
38800	38700	-4,7	4,7	0,002	0,025	0,025	-2,26	2,09	0,004	-0,17
38700	30800	17,33	-17,26	0,067	0,083	0,083	0,83	-1,21	0,114	-0,5
20900	21000	8,44	-8,43	0,015	0,041	0,041	1,51	-1,95	0,026	-0,47
21000	21100	7,93	-7,91	0,012	0,039	0,039	1,65	-2,04	0,021	-0,41
21100	21300	5,61	-5,6	0,009	0,028	0,028	1,16	-1,76	0,016	-0,61
23300	23200	5,72	-5,71	0,007	0,029	0,029	1,58	-2,01	0,012	-0,44
23200	24400	5,31	-5,3	0,009	0,027	0,028	1,83	-2,39	0,015	-0,58
23100	24400	-5,3	5,3	0	0,028	0,028	-2,39	2,39	0	0
39100	23300	5,85	-5,85	0,008	0,029	0,029	1,17	-1,64	0,013	-0,48
39100	30100	0,9	-0,9	0	0,004	0,005	0,15	-0,3	0	-0,15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
38200	38300	2,7	-2,7	0	0,014	0,014	1,06	-1,16	0,001	-0,1
38300	30600	2	-2	0	0,011	0,011	0,96	-1	0	-0,04
38300	35800	0,7	-0,7	0	0,003	0,003	0,2	-0,2	0	0
31400	36100	1,38	-1,38	0	0,007	0,007	0,48	-0,48	0	0
37600	37700	6,21	-6,2	0,003	0,033	0,034	2,9	-3,03	0,005	-0,14
37700	34300	5,3	-5,3	0,003	0,029	0,03	2,74	-3	0,007	-0,26
34000	33900	17,93	-17,93	0	0,117	0,117	15,74	-15,74	0	0
37700	34500	0,9	-0,9	0	0,005	0,005	0,29	-0,4	0	-0,11
38600	33800	0,9	-0,9	0	0,005	0,005	0,28	-0,4	0	-0,12
32000	37500	-3,19	3,19	0,002	0,016	0,016	-0,81	0,48	0,003	-0,33
37500	31800	-3,79	3,79	0,001	0,019	0,018	-0,5	0,4	0,001	-0,09
37600	37800	-6,62	6,63	0,002	0,034	0,034	-2,51	2,36	0,006	-0,16
31700	37500	-0,6	0,6	0	0,003	0,003	-0,3	0,02	0	-0,28
31900	37800	-0,8	0,8	0	0,004	0,004	-0,3	0,23	0	-0,07
31500	32000	-3,19	3,19	0	0,016	0,016	-0,81	0,81	0	0
31300	37200	0	0	0	0,005	0,001	-1,11	0,14	0	-0,98
32200	37300	1,3	-1,3	0	0,008	0,007	-1,03	0,65	0,001	-0,38
37300	37400	0,8	-0,8	0	0,005	0,004	-0,53	-0,06	0	-0,59
35300	37200	0	0	0	0	0,001	0	-0,14	0	-0,14
37300	32100	0,5	-0,5	0	0,002	0,002	-0,12	-0,1	0	-0,22
37400	35400	0,8	-0,8	0	0,004	0,004	0,06	-0,2	0	-0,14
31200	37000	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	-0,04
32300	37100	-0,2	0,2	0	0,001	0,001	0	-0,04	0	-0,04
33000	38400	-2,5	2,5	0,002	0,012	0,013	0,25	-0,76	0,003	-0,51
38400	33200	-1,8	1,8	0	0,009	0,009	-0,28	0,2	0	-0,08
46100	40000	-4,71	4,71	0	0,023	0,023	-1,91	1,91	0	0
40100	45300	0,51	-0,51	0	0,003	0,003	0,44	-0,44	0	0
40100	46100	-0,61	0,61	0	0,003	0,003	-0,39	-0,19	0	-0,58
44400	40100	-0,1	0,1	0	0	0,001	0	-0,05	0	-0,05
43800	43900	2,9	-2,9	0,002	0,013	0,014	-0,26	-0,5	0,004	-0,76
43900	44500	0	0	0	0,004	0	-0,9	0	0	-0,9
41300	47100	-4,7	4,7	0	0,026	0,026	-3	3	0	0
41600	47200	-2	2	0	0,01	0,01	-1	1	0	0
41400	47100	0	0	0	0	0	0	-0,02	0	-0,02
41500	47200	-1,2	1,2	0	0,006	0,006	-0,6	0,58	0	-0,02
47100	47000	-4,7	4,7	0,002	0,026	0,025	-2,98	2,74	0,004	-0,24
41200	47000	0	0	0	0	0	0	-0,09	0	-0,09
44100	44000	-0,3	0,3	0	0,002	0,004	-0,3	-0,77	0	-1,07

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
40900	40800	1,85	-1,85	0,002	0,013	0,011	-2	1,42	0,003	-0,59
81302	81402	33,24	-33,1	0,143	0,055	0,153	5,15	-3,91	0,815	0,43
81302	81402	33,24	-33,1	0,143	0,055	0,153	5,15	-3,91	0,815	0,43
43700	43800	3,71	-3,7	0,003	0,017	0,017	-0,44	-0,14	0,005	-0,59
40600	47600	-0,3	0,3	0	0,002	0,001	-0,15	-0,08	0	-0,23
45800	42200	9,26	-9,26	0	0,05	0,05	-5,4	5,4	0	0
42600	83800	17,81	-17,72	0,085	0,083	0,083	-0,94	0,4	0,146	-0,68
83800	45800	10,72	-10,66	0,061	0,056	0,054	-5,4	4,4	0,105	-1,11
42200	42300	3	-3	0,003	0,015	0,017	1,34	-2	0,005	-0,67
51000	54300	0,65	-0,65	0	0,004	0,004	0,37	-0,37	0	0
50700	55900	-3,7	3,7	0	0,021	0,021	-2,05	2,05	0	0
55700	51100	-0,3	0,3	0	0,004	0,004	-0,87	0,87	0	0
51100	51000	2,52	-2,52	0,001	0,013	0,014	1,08	-1,5	0,003	-0,42
55900	58000	-8,05	8,05	0,001	0,045	0,045	-4,37	4,34	0,002	-0,03
58100	55900	-4,35	4,35	0	0,024	0,024	-2,37	2,32	0,001	-0,05
57600	50700	-5,84	5,84	0,001	0,032	0,032	-3,02	2,97	0,002	-0,05
58200	58100	-4,35	4,35	0	0,024	0,024	-2,46	2,41	0,001	-0,06
57700	57600	-1,84	1,84	0	0,01	0,01	-1,01	0,95	0	-0,06
58300	58200	-2,95	2,95	0	0,017	0,017	-1,7	1,68	0	-0,02
57800	57700	-1,84	1,84	0	0,011	0,011	-1,25	1,23	0	-0,02
54300	58400	0,65	-0,65	0	0,004	0,004	0,37	-0,48	0	-0,11
58400	58300	-1,45	1,45	0	0,009	0,009	-1,18	1,04	0	-0,14
51000	57900	0,26	-0,26	0	0,001	0,002	0,12	-0,23	0	-0,11
57900	57800	-1,84	1,84	0	0,011	0,011	-1,43	1,29	0,001	-0,14
57900	51500	2,1	-2,1	0	0,013	0,014	1,66	-1,8	0,001	-0,15
58400	50900	2,1	-2,1	0	0,013	0,014	1,66	-1,8	0,001	-0,15
57800	51400	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	-0,04
58300	50800	1,5	-1,5	0	0,008	0,008	0,66	-0,7	0	-0,04
57700	55000	0	0	0	0,001	0	-0,22	0	0	-0,22
54900	58200	-1,4	1,4	0	0,008	0,008	-1	0,78	0	-0,22
57600	55200	4	-4	0	0,022	0,022	2,07	-2,1	0,001	-0,03
55700	57200	-1,8	1,8	0	0,01	0,01	-0,93	0,78	0	-0,16
51100	57400	-2,82	2,82	0,001	0,017	0,016	-1,95	1,79	0,001	-0,16
51200	57200	-2,1	2,1	0	0,014	0,013	-1,8	1,78	0	-0,02
51300	57400	-1,7	1,7	0	0,01	0,01	-1	0,98	0	-0,02
50700	57500	-6,14	6,14	0	0,034	0,034	-3,42	3,39	0,001	-0,03
82102	82002	87,31	-87,01	0,3	0,157	0,458	41,33	-35,98	4,148	1,2
82801	83901	62	-61,73	0,267	0,114	0,333	32,92	-29,9	2,166	0,85
58500	51800	18,43	-18,3	0,129	0,096	0,098	6,58	-7,32	0,328	-1,07

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
55300	52600	3,1	-3,1	0,001	0,018	0,018	1,82	-1,9	0,001	-0,08
52900	56000	-0,3	0,3	0	0,002	0,003	-0,2	-0,64	0	-0,84
56000	53100	-0,7	0,7	0	0,004	0,006	0,44	-0,96	0	-0,52
53100	53200	-5,7	5,71	0,008	0,03	0,029	-2,04	1,58	0,015	-0,48
53200	53300	-6,01	6,02	0,007	0,031	0,03	-1,78	1,41	0,013	-0,39
53400	56200	10,55	-10,52	0,029	0,055	0,056	3,88	-4,41	0,061	-0,59
53500	53600	-2	2	0,001	0,011	0,01	-1	0,67	0,001	-0,33
53600	53700	-2,5	2,5	0,002	0,013	0,012	-0,87	0,34	0,003	-0,53
53700	53800	-2,8	2,8	0,002	0,014	0,014	-0,44	-0,12	0,004	-0,56
34000	38500	-17,93	17,94	0,007	0,117	0,117	-15,74	15,72	0,012	-0,03
33700	33600	-3,61	3,61	0,003	0,018	0,018	0,56	-0,98	0,005	-0,42
33600	39200	-4,61	4,62	0,006	0,023	0,023	0,48	-1,02	0,01	-0,55
39200	33400	-5,02	5,02	0,001	0,025	0,025	0,84	-0,93	0,002	-0,1
42700	42800	5,12	-5,1	0,013	0,029	0,027	-3,81	2,83	0,024	-1
42800	42900	2,8	-2,8	0,003	0,013	0,013	-0,43	-0,51	0,005	-0,95
42900	44700	0,6	-0,6	0	0,004	0,003	-0,59	0,09	0	-0,5
43000	44200	1,1	-1,1	0,001	0,006	0,007	-0,28	-1	0,001	-1,28
43100	43200	-3,5	3,51	0,003	0,017	0,017	-0,09	-0,41	0,005	-0,51
43300	43500	0	0	0	0,007	0,003	-1,46	0,57	0,001	-0,89
43500	43600	-0,3	0,3	0	0,004	0,002	-0,72	0,15	0	-0,57
31400	31500	-3,18	3,19	0,004	0,017	0,016	-1,48	0,81	0,006	-0,67
36100	37600	-0,42	0,42	0	0,003	0,003	-0,52	-0,39	0	-0,91
34200	38500	0	0	0	0	0,001	0	-0,22	0	-0,22
33000	32900	2,2	-2,2	0,002	0,011	0,011	-0,35	-0,46	0,003	-0,82
32900	32800	1,8	-1,8	0,001	0,009	0,01	0,31	-0,9	0,002	-0,59
35900	32700	0	0	0	0	0,002	0	-0,32	0	-0,32
32700	32600	-0,3	0,3	0	0,002	0,004	0,22	-0,73	0	-0,51
38600	33900	17,07	-17,07	0,007	0,112	0,113	15,25	-15,26	0,011	-0,03
9200	6300	13,08	-13,03	0,046	0,064	0,065	0,88	-1,63	0,118	-0,87
9100	1300	5,25	-5,24	0,01	0,031	0,029	-3,71	2,85	0,026	-0,89
15100	12100	-1,4	1,4	0,001	0,008	0,007	-0,7	0,02	0,001	-0,68
32200	34900	3,21	-3,2	0,006	0,018	0,015	-1,88	0,48	0,012	-1,41
34700	34600	0,2	-0,2	0	0,003	0,001	-0,59	0	0	-0,59
5700	5600	-1,1	1,1	0	0,005	0,006	0,19	-0,72	0,001	-0,54
31000	31100	15,25	-15,18	0,071	0,074	0,074	1,16	-1,69	0,122	-0,65
31100	35500	9,18	-9,15	0,032	0,045	0,045	0,4	-1,13	0,054	-0,78
35500	36200	8,75	-8,74	0,008	0,043	0,043	1,03	-1,26	0,015	-0,24
30800	30900	16,86	-16,81	0,051	0,081	0,081	1,01	-1,31	0,087	-0,39
30900	31000	15,51	-15,45	0,061	0,075	0,075	0,71	-1,16	0,105	-0,55
31100	23400	1,9	-1,9	0,002	0,009	0,01	0,08	-0,9	0,003	-0,82
80503	80601	29,19	-29,02	0,173	0,048	0,143	5,44	-4,07	0,399	0,97

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
55600	54000	-4,6	4,61	0,01	0,025	0,023	-2,02	1,19	0,017	-0,85
54000	54100	-5,11	5,12	0,008	0,026	0,025	-1,39	0,78	0,014	-0,63
54100	54200	-5,62	5,63	0,005	0,028	0,028	-0,98	0,64	0,009	-0,35
54700	84200	19,07	-19,01	0,061	0,103	0,104	8,52	-8,74	0,13	-0,35
63500	84200	-7	7,01	0,006	0,038	0,037	-3	2,74	0,013	-0,27
84300	6300	-5	5	0,004	0,026	0,026	-1,96	1,71	0,006	-0,25
84300	63600	3	-3	0	0,016	0,016	0,96	-1	0	-0,04
12400	12500	0,6	-0,6	0	0,003	0,003	0	-0,2	0	-0,2
40800	45500	0,75	-0,75	0,001	0,01	0,007	-2,02	1,28	0,002	-0,74
45500	45600	0,7	-0,7	0	0,007	0,005	-1,28	0,65	0,001	-0,63
82801	80503	13,23	-13,22	0,009	0,05	0,022	-27,81	-3,62	0,062	-31,5
1300	1500	5,24	-5,23	0,014	0,029	0,027	-2,85	2,03	0,023	-0,84
1500	1600	5,13	-5,11	0,012	0,027	0,026	-2,13	1,32	0,02	-0,83
2300	8600	-1,1	1,1	0,001	0,009	0,006	-1,4	0,59	0,001	-0,81
8600	300	-1,1	1,1	0	0,006	0,006	-0,48	0,27	0	-0,22
8500	6400	12,9	-12,9	0,001	0,066	0,066	3,14	-3,15	0,002	-0,01
1000	8800	0,4	-0,4	0	0,003	0,002	-0,36	-0,01	0	-0,38
900	8800	-0,4	0,4	0	0,002	0,002	-0,2	0,01	0	-0,19
2200	8500	0	0	0	0	0	0	-0,01	0	-0,01
600	8700	-0,95	0,95	0	0,008	0,005	-1,25	0,42	0,001	-0,83
8700	100	-1,75	1,75	0,001	0,009	0,009	-0,72	0,16	0,002	-0,56
200	8700	-0,8	0,8	0	0,004	0,004	-0,4	0,3	0	-0,1
10100	8300	-5,78	5,8	0,021	0,03	0,032	1,73	-3,06	0,045	-1,37
8300	10000	0,4	-0,4	0	0,002	0,002	0,17	-0,2	0	-0,03
10400	9400	-8,51	8,54	0,027	0,043	0,042	-1,59	0,74	0,057	-0,91
9400	10300	0	0	0	0	0	-0,03	0	0	-0,03
13200	13300	-24,1	24,4	0,301	0,137	0,136	-10,7	10,5	0,516	-0,72
13300	15500	-26,1	26,38	0,276	0,145	0,144	-11,3	11,16	0,473	-0,61
2500	15500	28,85	-28,48	0,371	0,154	0,156	12,01	-12,16	0,788	-0,94
8100	2500	29,1	-29,05	0,047	0,155	0,155	12,09	-12,11	0,1	-0,12
8100	2400	0	0	0	0,001	0	-0,24	0	0	-0,24
13400	8000	-13,64	13,7	0,065	0,067	0,068	0,73	-1,31	0,111	-0,7
5800	8000	-0,8	0,8	0	0,004	0,004	-0,3	0,3	0	0
8200	13700	-0,5	0,5	0	0,003	0,003	-0,17	-0,23	0	-0,41
8200	13600	0,5	-0,5	0	0,003	0,003	0,17	-0,2	0	-0,03
13800	2700	-1	1	0	0,006	0,005	-0,73	0,05	0,001	-0,68
84003	83002	29,11	-28,93	0,185	0,05	0,148	10,07	-8,78	0,414	0,87
4600	7600	6,98	-6,98	0,003	0,037	0,037	2,25	-2,42	0,008	-0,18
4600	4700	-6,98	6,99	0,005	0,037	0,036	-2,25	1,98	0,012	-0,28
3200	3100	-8,74	8,74	0,003	0,047	0,047	-3,63	3,54	0,006	-0,09
80205	300	1,7	-1,7	0,001	0,008	0,009	0,01	-0,57	0,001	-0,56

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80205	100	5,75	-5,75	0,001	0,03	0,03	2	-2,06	0,002	-0,05
80205	9000	1,5	-1,5	0,001	0,011	0,009	-1,69	1,17	0,002	-0,53
80205	10600	0	0	0	0,008	0	-1,56	0	0,001	-1,56
80205	2600	6,33	-6,3	0,027	0,032	0,034	0,84	-2,7	0,069	-1,93
80205	4800	3,31	-3,31	0,004	0,018	0,017	-1,61	1,06	0,006	-0,55
80205	3100	9,56	-9,54	0,015	0,051	0,051	3,54	-3,94	0,038	-0,44
80205	4700	16,51	-16,49	0,029	0,087	0,088	5,96	-6,18	0,073	-0,29
80205	7000	8,48	-8,47	0,008	0,045	0,045	2,95	-3,26	0,022	-0,32
82501	8100	29,15	-29,1	0,057	0,154	0,155	11,82	-11,85	0,12	-0,15
82501	8000	14,52	-14,5	0,02	0,071	0,071	-1,17	1,01	0,034	-0,19
82501	80205	-3,34	3,48	0,144	0,114	0,117	22,96	-23,32	0,283	-0,64
54200	54400	-6,13	6,14	0,01	0,03	0,03	-0,84	0,16	0,021	-0,7
55600	84100	4	-4	0,003	0,021	0,022	1,72	-2	0,005	-0,28
13100	13000	-2,92	2,93	0,003	0,015	0,015	-0,9	0,27	0,005	-0,63
13000	12900	-3,33	3,33	0,002	0,017	0,017	-0,47	0,19	0,003	-0,29
12900	12800	-6,13	6,14	0,016	0,032	0,031	-1,59	0,65	0,033	-0,97
12800	14800	-10,54	10,58	0,036	0,054	0,054	-2,75	2,07	0,076	-0,75
14800	12700	-10,88	10,9	0,019	0,055	0,055	-2,27	1,93	0,04	-0,38
82302	11600	4,11	-4,11	0,009	0,023	0,021	-2,13	1,01	0,018	-1,13
82302	13100	8,43	-8,38	0,059	0,043	0,048	1,78	-4,6	0,196	-3,02
82302	9400	8,54	-8,54	0,002	0,042	0,042	0,63	-0,71	0,005	-0,08
82302	8300	6,2	-6,2	0,002	0,034	0,034	-2,97	2,89	0,003	-0,08
82302	15000	6,73	-6,73	0,006	0,035	0,034	-1,83	1,54	0,012	-0,31
82302	11700	6,38	-6,36	0,018	0,034	0,033	-2,59	1,64	0,038	-0,99
55100	58100	0	0	0	0	0	0	-0,03	0	-0,03
43300	43400	-4	4,01	0,009	0,021	0,02	-1,34	0,27	0,015	-1,08
50600	57500	-2	2	0	0,011	0,011	-1	0,96	0	-0,04
51600	57000	-0,9	0,9	0	0,005	0,005	-0,4	0,39	0	-0,01
51700	58500	0	0	0	0	0,001	0	-0,2	0	-0,2
55300	54800	-3,4	3,4	0,004	0,02	0,018	-2,02	1,47	0,007	-0,56
54800	52500	-3,7	3,71	0,004	0,02	0,019	-1,67	1,2	0,007	-0,48
52500	52400	-4,81	4,81	0,005	0,025	0,025	-1,7	1,34	0,008	-0,36
52400	51800	-5,01	5,02	0,006	0,026	0,025	-1,44	0,99	0,011	-0,47
32600	32500	-1	1	0	0,005	0,007	0,53	-0,94	0	-0,41
32500	32400	-1	1	0	0,007	0,007	0,94	-1,05	0	-0,11
32400	31300	-3,8	3,81	0,007	0,018	0,019	0,35	-1,15	0,009	-0,81
31300	37000	-3,81	3,81	0,005	0,021	0,023	2,26	-3,05	0,012	-0,81
32200	37100	-6,71	6,72	0,013	0,034	0,036	2,61	-3,39	0,031	-0,81
9200	6200	0,9	-0,9	0	0,005	0,005	0,34	-0,4	0	-0,06
9100	1400	0,4	-0,4	0	0,002	0,002	0,14	-0,2	0	-0,06
80601	54400	6,64	-6,64	0,002	0,032	0,032	0,2	-0,36	0,006	-0,17

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80601	63000	16,21	-16	0,212	0,082	0,085	4,61	-6	0,42	-1,81
80601	54700	15,78	-15,67	0,113	0,086	0,088	7,82	-8,52	0,24	-0,94
80601	9100	5,66	-5,65	0,009	0,034	0,033	-4,19	3,57	0,023	-0,64
80601	9200	14,02	-13,98	0,038	0,068	0,069	0,68	-1,22	0,096	-0,63
80503	61100	119,6	-119	0,564	0,195	0,206	-8,84	-40	4,558	-53,4
34900	34800	1,5	-1,5	0,001	0,009	0,007	-1,28	0,45	0,002	-0,83
34800	34700	1,4	-1,4	0	0,007	0,007	-0,45	-0,01	0,001	-0,46
35200	38200	-11	11	0,004	0,055	0,054	-3,04	2,89	0,015	-0,16
30500	35600	-1,5	1,5	0	0,007	0,007	-0,4	0,24	0	-0,16
36900	38800	-1,3	1,3	0	0,007	0,007	-0,6	0,6	0	0
37900	38000	2,9	-2,9	0	0,015	0,015	1,22	-1,27	0	-0,04
24000	23900	-1,6	1,6	0,001	0,008	0,009	0,25	-1,06	0,002	-0,81
23900	23800	-1,9	1,9	0,001	0,01	0,011	0,86	-1,27	0,001	-0,41
23800	23700	-2,1	2,1	0,002	0,011	0,014	1,17	-1,96	0,004	-0,8
39300	30000	3	-3	0,001	0,014	0,015	0,24	-0,63	0,003	-0,4
30000	35700	2,8	-2,8	0,001	0,014	0,014	0,63	-1,1	0,003	-0,47
44800	44700	-0,3	0,3	0	0,002	0,002	-0,15	-0,24	0	-0,39
43000	47700	-2,9	2,9	0,001	0,014	0,014	-0,62	0,29	0,002	-0,33
47700	43100	-3	3	0,002	0,015	0,015	-0,17	-0,21	0,003	-0,38
45100	47700	-0,1	0,1	0	0,001	0,001	-0,05	-0,12	0	-0,17
50500	58000	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	-0,04
51800	51900	11,28	-11,26	0,021	0,061	0,062	4,93	-5,31	0,055	-0,43
51900	52000	11,06	-11,02	0,039	0,061	0,063	5,21	-5,88	0,098	-0,77
55400	55500	9,02	-9	0,019	0,051	0,053	4,88	-5,36	0,049	-0,53
83300	95300	3	-3	0	0,016	0,016	0,86	-1	0,001	-0,14
52000	55400	9,02	-9,02	0	0,051	0,051	4,88	-4,88	0	0
55500	83300	8	-8	0	0,046	0,046	4,36	-4,36	0	0
41900	45700	3,1	-3,1	0	0,015	0,015	1,03	-1,03	0	0
95200	83200	-4	4	0,002	0,022	0,021	-2	1,68	0,005	-0,32
82002	53400	11,09	-11,05	0,044	0,056	0,058	3,43	-4,18	0,093	-0,85
82002	50300	6,32	-6,3	0,017	0,034	0,036	2,97	-3,64	0,029	-0,7
82002	54500	7,44	-7,41	0,026	0,037	0,038	1,26	-2,17	0,045	-0,95
82002	58000	8,06	-8,05	0,017	0,043	0,045	3,66	-4,31	0,043	-0,69
82002	57500	8,16	-8,14	0,017	0,044	0,045	3,7	-4,35	0,044	-0,69
82002	57000	5,41	-5,41	0,004	0,028	0,029	2,16	-2,53	0,01	-0,38
82002	58500	18,5	-18,43	0,071	0,095	0,096	5,94	-6,38	0,181	-0,62
82002	83200	6,51	-6,5	0,008	0,033	0,034	2,18	-2,68	0,019	-0,52
42000	46000	5,1	-5,1	0	0,035	0,035	-5,58	5,58	0	0
42200	42100	6,26	-6,22	0,033	0,043	0,039	-6,73	5,71	0,057	-1,08
42100	42000	5,12	-5,1	0,019	0,038	0,035	-6,31	5,58	0,032	-0,77
46000	41900	3,1	-3,1	0,004	0,021	0,019	-3,18	2,57	0,007	-0,61

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
41800	41700	-1,6	1,6	0	0,008	0,008	-0,9	0,35	0,001	-0,55
45200	45700	-0,1	0,1	0	0,001	0,005	-0,1	-0,97	0	-1,07
40400	47500	-4,91	4,91	0,004	0,023	0,024	1,23	-1,73	0,008	-0,5
47400	45300	0,49	-0,49	0	0,002	0,003	0,16	-0,56	0	-0,4
40200	47400	-2	2	0	0,011	0,011	-1,3	1,3	0	0
40300	47500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40400	40500	4,91	-4,9	0,006	0,023	0,023	-1,23	0,61	0,01	-0,63
40500	47600	0,3	-0,3	0	0,007	0,004	-1,41	0,7	0,001	-0,71
47600	40700	0	0	0	0,003	0	-0,62	0	0	-0,62
93000	83400	4,53	-4,52	0,013	0,027	0,023	-3,24	1,86	0,027	-1,41
83400	40900	1,86	-1,85	0,005	0,018	0,013	-3,18	2	0,009	-1,18
81402	41700	2,8	-2,8	0	0,014	0,014	0,98	-1,05	0	-0,07
81402	42700	8,96	-8,92	0,039	0,05	0,048	-6,16	5,31	0,067	-0,92
81402	43700	4,01	-4,01	0,001	0,019	0,019	-0,57	0,34	0,003	-0,24
81402	47500	4,92	-4,91	0,01	0,026	0,024	-2,85	1,73	0,021	-1,14
81402	47400	2,49	-2,49	0,002	0,012	0,013	0,32	-1,46	0,005	-1,14
81402	45900	7,01	-7	0,007	0,037	0,037	3,72	-4	0,012	-0,29
81402	40000	7,42	-7,41	0,007	0,037	0,037	2,86	-3,21	0,015	-0,36
81402	47200	3,2	-3,2	0,001	0,016	0,016	1,19	-1,58	0,003	-0,39
81402	47000	4,7	-4,7	0,001	0,025	0,025	2,52	-2,65	0,002	-0,14
81402	41100	1	-1	0	0,006	0,007	0,78	-1	0	-0,22
81402	44000	1	-1	0,001	0,007	0,005	-1,28	0,07	0,001	-1,2
81402	42600	18,69	-18,51	0,179	0,086	0,086	-1,69	0,54	0,337	-1,49
81001	81102	30,3	-30	0,291	0,05	0,144	6,2	-3,12	0,596	2,49
81001	81102	29,57	-29,35	0,212	0,049	0,141	5,47	-3	0,583	1,88
80301	80401	43,25	-43,07	0,181	0,072	0,205	2,04	-0,06	1,387	0,6
21200	21100	-2,2	2,2	0,002	0,013	0,011	-1,5	0,82	0,003	-0,68
22900	22800	-2,6	2,6	0,004	0,013	0,013	-0,58	-0,36	0,005	-0,94
22800	22700	-2,9	2,91	0,004	0,014	0,015	0,21	-1,12	0,006	-0,92
22700	22600	-4,11	4,11	0,007	0,02	0,02	0,52	-1,2	0,01	-0,69
22600	22500	-4,31	4,32	0,008	0,021	0,022	1,11	-1,77	0,011	-0,67
21400	21500	3,6	-3,6	0,001	0,017	0,018	0,46	-0,68	0,002	-0,22
24000	24200	1,1	-1,1	0,001	0,006	0,006	-0,59	-0,7	0,001	-1,29
38100	21800	0,8	-0,8	0	0,005	0,004	-0,82	0,35	0	-0,47
21800	21700	0,6	-0,6	0	0,004	0,003	-0,44	-0,27	0	-0,71
24300	21600	-1,3	1,3	0,001	0,008	0,006	-1	0,34	0,001	-0,66
21600	21500	-1,9	1,9	0,002	0,01	0,009	-0,61	-0,32	0,003	-0,94
30200	39000	-2,4	2,4	0	0,013	0,013	-1,2	1,11	0	-0,09
39000	38900	-2,4	2,4	0	0,013	0,012	-1,06	1,02	0	-0,04
36500	39000	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	-0,04
30300	38000	-1,9	1,9	0	0,01	0,01	-0,9	0,81	0	-0,09

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
36400	38000	-1	1	0	0,005	0,005	-0,5	0,46	0	-0,04
39100	39300	-6,75	6,76	0,009	0,033	0,033	-1,32	0,89	0,016	-0,44
81102	37000	3,81	-3,81	0,002	0,024	0,023	-3,32	3,1	0,004	-0,23
81102	37100	6,92	-6,92	0,004	0,037	0,037	-3,65	3,43	0,01	-0,23
81102	38700	22,06	-22,03	0,027	0,106	0,106	2,83	-2,91	0,046	-0,12
81102	36300	0	0	0	0,001	0	-0,23	0	0	-0,23
81102	36700	7	-7	0,005	0,036	0,036	2,78	-3	0,01	-0,23
81102	35100	9,51	-9,5	0,01	0,049	0,049	3,67	-3,86	0,017	-0,21
81102	39300	9,78	-9,77	0,016	0,047	0,047	0,79	-1,13	0,027	-0,37
24100	20400	-0,74	0,74	0	0,004	0,004	-0,37	0,37	0	0
24100	20600	4	-4	0,003	0,02	0,021	1,39	-1,98	0,008	-0,59
20500	20400	2,74	-2,74	0,001	0,014	0,015	0,86	-1,37	0,003	-0,51
20300	24100	3,26	-3,26	0,001	0,016	0,016	0,86	-1,03	0,001	-0,16
80809	80905	-721,8	723,4	1,534	0,547	1,189	11,12	43,14	50,84	3,43
82701	82601	426,2	-425,2	0,974	0,32	0,696	-19,98	39,59	16,59	3,02
22200	35000	-0,5	0,5	0	0,003	0,007	-0,2	-1,42	0,001	-1,62
23000	22900	-0,2	0,2	0	0,001	0,003	-0,09	-0,62	0	-0,71
22500	22400	-4,62	4,63	0,005	0,023	0,024	1,64	-2	0,007	-0,37
83002	2800	0,43	-0,42	0,003	0,028	0,029	5,62	-5,9	0,007	-0,28
83002	2700	1,1	-1,1	0	0,006	0,005	-0,55	-0,15	0,001	-0,7
83002	75600	2	-2	0,002	0,01	0,011	-0,14	-1	0,004	-1,14
82401	83100	3	-3	0,001	0,016	0,016	0,97	-1,31	0,003	-0,34
80809	70300	569,7	-567	2,658	0,52	0,496	-382,2	-327	50,44	-760
80809	94500	152,1	-151,9	0,136	0,219	0,231	-246	-263,6	2,756	-512
20600	20700	3,5	-3,5	0,001	0,019	0,019	1,78	-2	0,003	-0,23
81902	2000	-2,62	2,62	0,001	0,013	0,014	0,58	-0,93	0,002	-0,35
81902	8500	12,95	-12,9	0,048	0,065	0,066	2,68	-3,13	0,079	-0,53
81902	1800	25,22	-25,1	0,117	0,135	0,136	10,72	-11	0,392	-0,68
81902	1900	0	0	0	0,003	0	-0,69	0	0	-0,69
90500	82102	164	-162,8	1,227	0,268	0,266	-22	-12,66	6,789	-41,5
81302	90700	-8,98	9	0,021	0,023	0,075	10,57	-45	0,177	-34,6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
90100	80905	557	-548,7	8,243	0,914	0,909	-49,99	77,11	56,21	-29,1
80301	71200	287,9	-283	4,878	0,478	0,49	24,41	-49	28,65	-53,2
84003	71000	160,8	-159	1,813	0,263	0,276	-10,55	-46	11,01	-67,6
82302	86500	-166	166,5	0,485	0,87	5,3	-57,79	68,18	8,564	1,82
82302	8E+05	1,2	-1,2	0	0,007	0,007	0,6	-0,6	0	0
80103	82601	-78,6	78,64	0,046	0,134	0,138	24,82	-31,85	0,312	-7,33
81805	80103	89,71	-89,5	0,208	0,148	0,147	-16,99	-10,8	1,421	-29,2
81805	81001	-125,4	126	0,63	0,204	0,216	2,24	-41,69	4,307	-43,8
81302	81001	-57,5	57,59	0,095	0,1	0,099	-20,88	-20,37	0,821	-42,1
82102	82801	75,46	-75,23	0,23	0,132	0,123	-28,66	-5,11	1,267	-35
80301	80905	-331,1	333,3	2,161	0,55	0,548	-26,46	20,43	14,65	-20,7
84003	82601	-189,9	191,1	1,157	0,31	0,314	0,48	-27,91	7,904	-35,3
82002	55800	4,52	-4,52	0,006	0,023	0,025	1,68	-2,5	0,016	-0,84
55800	57400	4,52	-4,52	0,002	0,025	0,026	2,5	-2,77	0,006	-0,28
57000	56100	4,51	-4,5	0,004	0,024	0,025	2,14	-2,59	0,009	-0,46
56100	57200	3,9	-3,9	0,002	0,022	0,023	2,29	-2,56	0,004	-0,28
52600	52700	3,1	-3,1	0	0,018	0,018	1,9	-1,9	0	0
52700	52800	0,3	-0,3	0	0,002	0,002	-0,1	-0,2	0	-0,3
58700	52900	-0,3	0,3	0	0,002	0,002	-0,2	0,2	0	0
35100	37900	4,7	-4,7	0,003	0,024	0,024	1,46	-1,7	0,005	-0,25
37900	30400	1,8	-1,8	0,001	0,009	0,01	0,48	-0,9	0,001	-0,42
81102	38900	3,71	-3,7	0,004	0,021	0,02	-2,47	2,02	0,006	-0,46
38900	38100	1,3	-1,3	0,001	0,016	0,015	-3,04	2,77	0,002	-0,28
38100	35000	0,5	-0,5	0,001	0,01	0,007	-1,94	1,42	0,001	-0,53
33500	39200	-0,4	0,4	0	0,002	0,002	-0,2	0,18	0	-0,02
7100	7200	-3,54	3,54	0,001	0,019	0,019	-1,55	1,36	0,002	-0,19
7200	3400	-4,74	4,74	0	0,025	0,025	-1,86	1,85	0	-0,01
3600	7200	-1,2	1,2	0	0,006	0,006	-0,5	0,49	0	-0,01
3400	7900	-4,74	4,74	0	0,025	0,025	-1,85	1,84	0	-0,01
7900	7800	-4,74	4,74	0,001	0,025	0,025	-1,84	1,75	0,002	-0,09
3500	7900	0	0	0	0	0	0	-0,01	0	-0,01

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4900	7500	2,6	-2,6	0,002	0,014	0,013	-0,79	0,28	0,003	-0,52
7500	5100	1,4	-1,4	0,001	0,008	0,007	-0,76	0,13	0,001	-0,63
5000	7500	-1,2	1,2	0	0,006	0,006	-0,5	0,48	0	-0,02
5100	7700	1,1	-1,1	0	0,006	0,006	-0,23	-0,33	0,001	-0,56
7700	2100	0,3	-0,3	0	0,001	0,002	-0,01	-0,1	0	-0,11
12300	8400	-0,3	0,3	0	0,002	0,002	-0,1	-0,23	0	-0,33
500	9000	-1,3	1,3	0	0,007	0,007	-0,6	0,33	0	-0,27
10500	9500	-0,2	0,2	0	0,001	0,001	-0,1	-0,08	0	-0,18
83100	74000	1	-1	0	0,005	0,007	0,31	-1	0,001	-0,69
3900	7000	-2,5	2,5	0	0,014	0,014	-1,2	1,1	0,001	-0,1
4100	7300	-2,5	2,5	0	0,014	0,013	-1,1	1	0,001	-0,1
6700	9600	-2,1	2,1	0	0,011	0,011	-0,9	0,9	0	0
4000	7300	5,33	-5,33	0,001	0,028	0,028	1,74	-1,85	0,003	-0,11
4000	9600	-17,03	17,04	0,014	0,092	0,092	-7,34	7,22	0,046	-0,17
80205	9600	19,17	-19,14	0,023	0,103	0,103	7,97	-8,12	0,075	-0,22
59900	82701	-104	104,1	0,116	0,295	0,266	-378	-338,9	1,571	-718
70300	82701	77,05	-76,95	0,093	0,319	0,206	-414	-263,5	1,802	-679
94500	82701	455,9	-453,3	2,562	0,522	0,418	-514,3	-323,5	38,91	-877
805300	8E+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
805400	8E+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
805500	8E+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
806200	8E+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
806100	8E+06	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80905	87100	-781,4	783	1,644	1,301	18,9	-136,2	214,2	71,24	6,69
32800	36800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81001	80905	-270,8	273,6	2,782	0,447	0,465	45,67	-73,29	23,98	-51,6
80401	22400	6,24	-6,23	0,01	0,031	0,03	-1,87	1,2	0,021	-0,69
80401	23500	1,9	-1,9	0	0,011	0,012	1,32	-1,5	0,001	-0,19
80401	23600	2	-2	0	0,01	0,011	0,81	-1	0,001	-0,19
80401	20900	8,66	-8,64	0,02	0,042	0,042	1,05	-1,61	0,034	-0,59
80401	23700	2,21	-2,2	0,002	0,016	0,014	-2,55	1,91	0,005	-0,64

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80401	84400	3	-3	0,004	0,014	0,016	0,19	-1,5	0,009	-1,32
79100	80401	-3	3,01	0,007	0,015	0,02	0,73	-2,88	0,019	-2,16
80401	20300	8,29	-8,26	0,027	0,04	0,042	1,85	-2,86	0,058	-1,07
80401	20500	7,76	-7,74	0,02	0,038	0,04	2,13	-3,16	0,051	-1,08
80601	5600	1,2	-1,2	0	0,007	0,007	-0,81	0,62	0	-0,19
80503	80601	30,72	-30,49	0,237	0,051	0,15	5,74	-4,24	0,419	1,08
1000	6500	-0,6	0,6	0	0,003	0,006	0,26	-1,17	0,001	-0,91
1200	1100	5,42	-5,4	0,02	0,027	0,027	-0,84	-0,46	0,034	-1,34
6300	1200	5,73	-5,72	0,008	0,029	0,028	-1,18	0,74	0,013	-0,45
21300	21400	4,2	-4,2	0	0,021	0,021	0,76	-0,76	0	0
81102	38200	13,71	-13,7	0,01	0,068	0,068	3,75	-3,95	0,033	-0,24
53300	56200	-6,02	6,02	0	0,03	0,03	-1,41	1,41	0	0
35600	35200	-7	7	0	0,035	0,035	-1,84	1,84	0	0
2300	600	12,35	-12,35	0	0,065	0,065	4,37	-4,37	0	0
82302	12700	16,01	-16	0,015	0,082	0,082	4,33	-4,43	0,032	-0,14
15200	14100	-1,76	1,76	0	0,01	0,01	-1,07	1,07	0	0
11000	16100	0,1	-0,1	0	0,001	0,001	0,05	-0,05	0	0
83002	5900	4,33	-4,32	0,014	0,024	0,022	-2,22	0,71	0,026	-1,53
83901	33400	5,32	-5,32	0,003	0,026	0,026	-0,93	0,73	0,004	-0,2
83901	38600	18,1	-17,97	0,123	0,114	0,117	15,11	-15,53	0,314	-0,73
83901	38500	18,06	-17,94	0,123	0,114	0,116	15,09	-15,5	0,313	-0,73
83901	37800	7,44	-7,43	0,012	0,037	0,038	2,1	-2,58	0,024	-0,51
83901	31800	4,19	-4,19	0,003	0,02	0,021	0,27	-0,6	0,005	-0,34
83901	33300	3,4	-3,4	0,002	0,017	0,018	0,96	-1,2	0,002	-0,24
83901	38400	0,71	-0,71	0	0,007	0,006	-1,28	1,04	0	-0,24
82201	34400	82,83	-82	0,834	0,166	0,232	59	-110	4,945	-55,9
82201	53000	255,8	-253	2,794	0,44	0,468	85,02	-110	22,43	-47,4
82601	82201	115	-114,7	0,305	0,189	0,189	-15,96	-14,93	2,624	-33,5
82201	80103	-91,73	91,94	0,206	0,154	0,151	-21,87	-11,77	1,778	-35,4
80503	82201	-166,4	167,7	1,311	0,271	0,289	1,27	-56,18	11,28	-66,2
79000	82900	5,01	-5	0,005	0,025	0,026	1,46	-2,1	0,014	-0,66

Блок-схема і розрахунок значень коефіцієнтів апроксимованих виразів в техніко-економічних моделях повітряних ліній системоутворюючих та розподільних мереж

Приводяться алгоритм розрахунку і блок-схема апроксимації інвестиційної складової в техніко-економічних моделях 1 км ПЛ системоутворюючих та розподільних мереж за виразом aF^b .

Апроксимація подібним чином дозволяє представити модель ПЛ електропередачі у вигляді:

$$Y = \sum_{i=1}^{m_1} A_i \prod_{j=1}^n x_j^{\alpha_{ij}} \quad (\text{Б.1})$$

Як видно з (Б.1), функція мети Y не містить постійної складової A_0 , що вигідно відрізняє подібного роду побудовану математичну модель ПЛ електропередачі від раніше відомих тим, що до цих моделей застосовуємо метод критеріального аналізу, який дозволяє апроксимувати всю модель в цілому, а не тільки змінну складову моделі, як це робилося раніше.

Для коректної постановки завдання і аналізу його критеріальним методом доцільно представити існуючу модель ПЛ електропередачі адекватною моделлю, яка має вигляд:

$$Y(x) \approx \varphi(x) \quad (\text{Б.2})$$

Один з шляхів реалізації (Б.2) полягає в заміні частини моделі апроксимованим виразом з достатньою мірою точності, причому в цю частину моделі повинна увійти постійна складова A_0 . Апроксимацію як окремих складових, так і цілих виразів, що входять у функцію мети необхідно виконувати тільки на множині $D = \{x: x > 0, x_\alpha \leq x_j \leq x_\beta\}$, яка є областю визначення вихідної функції мети $\varphi(x)$.

Алгоритм апроксимації інвестиційної складової в техніко-економічних моделях повітряних ліній системоутворюючих та розподільних мереж

Як вказувалося раніше, інвестиційну складову техніко-економічних моделей ПЛ 35–750 кВ замінимо апроксимуючим виразом

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
79100	76700	3	–3	0,004	0,015	0,015	–0,73	–1	0,011	–1,74
75400	79000	5,01	–5,01	0,001	0,025	0,025	1,4	–1,46	0,001	–0,06
97100	83600	2	–2	0,001	0,01	0,011	–0,12	–1	0,003	–1,12
96600	97200	2	–2	0	0,01	0,01	–0,2	0,19	0	–0,02
97100	97200	–2	2	0	0,01	0,01	0,12	–0,19	0	–0,07
5500	5400	3,91	–3,91	0,006	0,019	0,019	–0,3	–0,5	0,011	–0,82
5400	5300	3,21	–3,2	0,005	0,016	0,017	0,2	–1	0,008	–0,8
7700	5200	0,8	–0,8	0	0,004	0,004	0,34	–0,4	0	–0,06
77100	82401	–3	3	0,003	0,018	0,016	–1,92	1,19	0,007	–0,74
77100	75200	3	–3	0,001	0,018	0,018	1,92	–2	0,001	–0,08
39400	36200	–7,93	7,94	0,007	0,039	0,039	–1,13	0,86	0,015	–0,29
39400	2000	7,93	–7,92	0,015	0,039	0,04	1,13	–1,57	0,026	–0,47
20200	44900	2,2	–2,2	0,001	0,011	0,012	0,79	–1,1	0,001	–0,31
20200	23100	–2,2	2,2	0	0,011	0,011	–0,79	0,79	0	0
47800	43200	3,51	–3,51	0,003	0,018	0,017	–0,98	0,41	0,006	–0,57
47800	83901	–3,51	3,52	0,008	0,018	0,021	0,98	–2,43	0,017	–1,47
58800	33700	–2,81	2,81	0,002	0,014	0,014	0,45	–0,96	0,003	–0,52
58800	53800	2,81	–2,8	0,001	0,014	0,014	–0,45	0,12	0,002	–0,33
9800	36600	0	0	0	0,001	0	–0,29	0	0	–0,29
9800	5700	0	0	0	0,001	0,003	0,29	–0,69	0	–0,4
58900	43400	4,41	–4,41	0,002	0,022	0,022	0,31	–0,47	0,003	–0,16
58900	54500	–4,41	4,41	0,001	0,022	0,022	–0,31	0,17	0,002	–0,14
47900	44300	2,1	–2,1	0	0,013	0,013	1,49	–1,55	0	–0,06
47900	50300	–2,1	2,1	0,002	0,013	0,011	–1,49	0,64	0,004	–0,86
83002	9700	21,07	–21,02	0,042	0,108	0,108	6,08	–6,25	0,107	–0,28
82401	9700	–9,01	9,02	0,012	0,045	0,045	–1,69	1,25	0,032	–0,47
9700	2900	12	–12	0	0,064	0,064	5	–5	0	0
82201	86600	–175,5	176	0,519	0,291	5,06	–29,39	40,3	9,13	1,78
76900	82401	–3	3,01	0,006	0,016	0,015	–1,2	–0,47	0,013	–1,68

$a_i F^{bi}$. Значення коефіцієнтів a_i і b_i визначимо рішенням системи рівнянь, отриманих в результаті реалізації методу Гауса:

$$\frac{dR}{dA} = 0, \quad \frac{dR}{db} = 0 \quad (\text{Б.3})$$

чи

$$\begin{cases} (n+1)A + b \sum_{i=1}^n F_i - \sum_{i=1}^n Y_i = 0 \\ A \sum_{i=1}^n F_i + b \sum_{i=1}^n F_i^2 - \sum_{i=1}^n Y_i F_i = 0 \end{cases} \quad (\text{Б.4})$$

де $R = \sum_{i=1}^n (Y_i - A - bF_i)^2$

$$Y_i = \lg y_i, \quad F_i = \lg b_i$$

Y_i — інвестиційні вкладення в проектування та будівництво 1 км ПЛ системо утворюючих та розподільних мереж певного конструктивного виконання, класу напруги і типу опор;

F_i — переріз проводу.

З отриманої сукупності коефіцієнтів b_i було вибрано середнє значення коефіцієнта \tilde{b} , яке розраховано за виразом:

$$\tilde{b} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i \quad (\text{Б.5})$$

У відповідності з отриманим значенням коефіцієнтів \tilde{b} для варіантів ПЛ системо утворюючих та розподільних мереж певного конструктивного виконання, класу напруги і типу опор були перераховані коефіцієнти a_i таким чином, щоб середня відносна похибка по варіанту була як найменша, тобто, даний розрахунок було виконано з метою зменшення похибки апроксимації. (табл. Б.1).

На рис. Б.1 приведена блок-схема рішення задачі апроксимації розрахунку коефіцієнтів та відносної похибки апроксимації. Розрахунок згідно даної структурної блок – схеми виконувався за допомогою прикладної математичної програми ПЕОМ Mathcad.

Таблиця Б.1

Середні значення похибки апроксимації інвестиційних вкладень в ПЛ

Вид апроксимації	Середня похибка апроксимації, %			
$K = a_i F \tilde{b}$	35 кВ	110 кВ	330 кВ	750 кВ
	2,93	1,54	2,25	2,0

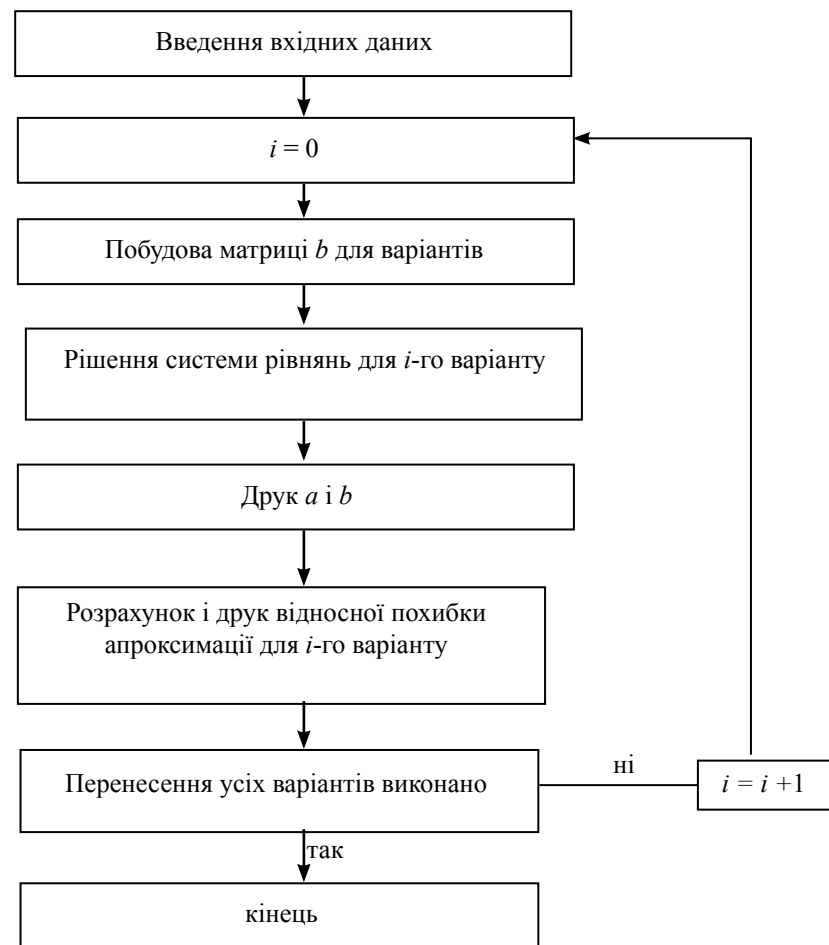


Рис. Б.1. Блок-схема для автоматизованого розрахунку коефіцієнтів апроксимації та відносної похибки апроксимації

В таблицях Б.2–Б.6 приведено значення коефіцієнтів апроксимації a_i і b_i для 1 км ПЛ системо утворюючих та розподільних мереж певного конструктивного виконання, класу напруги і типу опор.

Таблиця Б.2

Значення коефіцієнтів апроксимації для 1 км ПЛ 35 кВ, які виконано на сталевих опорах

U, кВ	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти	
			a	b
35	70	1	36,3	0,156
	95	1		
	120	1		
	70	2	55,79	0,169
	95	2		
	120	2		

Таблиця Б.3

Значення коефіцієнтів апроксимації для 1 км ПЛ 110 кВ, які виконано на сталевих опорах

U, кВ	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти	
			a	b
110	120	1	35,59	0,144
	240	1		
	120	2	47,18	0,166
	240	2		

Таблиця Б.4

Значення коефіцієнтів апроксимації для 1 км ПЛ 330 кВ, які виконано на сталевих опорах

U, кВ	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти	
			a	b
330	2x300	1	14,96	0,381
	2x400	1		
	2x300	2	9,98	0,527
	2x400	2		

Таблиця Б.5

Значення коефіцієнтів апроксимації для 1 км ПЛ 750 кВ, які виконано на сталевих опорах

U, кВ	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти	
			a	b
750	5x300	1	81,94	0,263
	5x400	1		

Таблиця Б.6

Значення коефіцієнтів апроксимації для 1 км ПЛ 35 кВ, які виконано на залізобетонних опорах

U, кВ	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти	
			a	b
35	70	1	27,30	0,143
	95	1		
	120	1		
	70	2	48,25	0,171
	95	2		
	120	2		

Таблиця Б.7

Значення коефіцієнтів апроксимації для 1 км ПЛ 110 кВ, які виконано на залізобетонних опорах

U, кВ	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти	
			a	b
110	120	1	29,22	0,145
	240	1		
	120	2	6,79	0,505
	240	2		

Таблиця Б.8

Значення коефіцієнтів апроксимації для 1 км ПЛ 330 кВ, які виконано на залізобетонних опорах

U, кВ	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти	
			a	b
330	2х300	1	36,27	0,216
	2х400	1		

В таблицях Б.9–Б.12 приведені значення коефіцієнтів апроксимації a_i і \tilde{b} та середня похибка по варіантам апроксимації.

Таблиця Б.9

Значення коефіцієнтів апроксимації та середня похибка апроксимації для ПЛ 35 кВ

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти		$\delta, \%$
				a'	\tilde{b}	
35	Сталева	70	1	8,56	0,17	1,6
		95	1	9,2		3,4
		120	1	10,59		4,7
		70	2	13,13		4,3
		95	2	14,27		2,3
		120	2	16,22		5,1
35	Залізобетонна	70	1	6,51	0,17	2,5
		95	1	6,87		1,6
		120	1	7,94		3,7
		70	2	11,06		1,5
		95	2	12,4		1,8
		120	2	14,18		2,7

Таблиця Б.10

Значення коефіцієнтів апроксимації та середня похибка апроксимації для ПЛ 110 кВ

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти		$\delta, \%$
				a'	\tilde{b}	
110	Сталева	120	1	22,42	0,24	1,0
		240	1	21,12		2,5
		120	2	33,08		1,5
		240	2	31,5		1,5
	Залізобетонна	120	1	18,56		1,5
		240	1	17,37		1,0
		120	2	24,14		1,5
		240	2	29,08		1,5

Таблиця Б.11

Значення коефіцієнтів апроксимації та середня похибка апроксимації для ПЛ 330 кВ

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти		$\delta, \%$
				a'	\tilde{b}	
330	Сталева	2х300	1	15,93	0,37	1,0
		2х400	1	15,99		3,0
		2х300	2	24,45		1,0
		2х400	2	25,57		2,5
	Залізобетонна	2х300	1	15,07		2,0
		2х400	1	14,43		4,0

Таблиця Б.12

Значення коефіцієнтів апроксимації та середня похибка апроксимації для ПЛ 750 кВ

U, кВ	Тип опор	Переріз проводу, мм²	Кількість ланцюгів	Коефіцієнти		$\delta, \%$
				a'	\tilde{b}	
750	Сталева	5х300	1	83,37	0,26	3,0
		5х400	1	83,44		1,0

Додаток В

Розрахунок параметрів нормального режиму роботи повітряних ліній 750 кВ системоутворюючих мереж Південно-Західної енергосистеми

СУММАРНАЯ ЗАДАННАЯ ИНФОРМАЦИЯ

> МОЩНОСТЬ НАГРУЗКИ - $P = 1192.880$ МВт, $Q = 2765.020$ МВАр

> МОЩНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ - $P = 1213.200$ МВт, $Q = 189.900$ МВАр

*** Суммарная расчетная информация ***

> МОЩНОСТЬ НАГРУЗКИ - $P = 1192.880$ МВт, $Q = 2765.020$ МВАр

> МОЩНОСТЬ ГЕНЕРАЦИИ - $P = 1236.832$ МВт, $Q = 215.341$ МВАр

> ПОТРЕБЛЯЕМАЯ МОЩНОСТЬ - $P = 1236.883$ МВт, $Q = 215.600$ МВАр

СУММАРНЫЕ ПОТЕРИ - $dP = 44.003$ МВт, $dQ = -2549.420$ МВАр

ПОТЕРИ В СЕТИ 35–750 кВ:

> ЛИНИИ - $dP = 35.386$ МВт, $dQ = 253.400$ МВАр

корона, шунт ВЛ/Зар - $dP = -0.000$ МВт, $dQ = -4600.919$ МВАр

> ТРАНСФОРМАТОРЫ - $dP = 3.368$ МВт, $dQ = 189.576$ МВАр

шунт АТ - $P_{ш} = 5.249$ МВт, $Q_{ш} = 31.538$ МВАр

> ШУНТ УЗЛА - $P_{ш} = 0.000$ МВт, $Q_{ш} = 1576.985$ МВАр

> СУММА - $dP = 44.003$ МВт, $dQ = -2549.420$ МВАр

ПОТЕРИ В СЕТИ 110 кВ :

> линии - $dP = 4.610$ МВт, $dQ = 9.632$ МВАр

корона, шунт ВЛ/Зар - $dP = -0.000$ МВт, $dQ = -205.542$ МВАр

> трансформаторы - $dP = 0.264$ МВт, $dQ = 8.564$ МВАр

шунт АТ - $P_{ш} = 0.221$ МВт, $Q_{ш} = 1.820$ МВАр

> сумма - $dP = 5.095$ МВт, $dQ = -185.527$ МВАр

ПОТЕРИ В СЕТИ 330 кВ :

> линии - $dP = 28.322$ МВт, $dQ = 195.709$ МВАр

корона, шунт ВЛ/Зар - $dP = -0.000$ МВт, $dQ = -815.832$ МВАр

> трансформаторы - $dP = 1.773$ МВт, $dQ = 103.894$ МВАр

шунт АТ - $P_{ш} = 3.672$ МВт, $Q_{ш} = 23.211$ МВАр

> сумма - $dP = 33.768$ МВт, $dQ = -493.018$ МВАр

ПОТЕРИ В СЕТИ 750 кВ :

> линии - $dP = 2.453$ МВт, $dQ = 48.060$ МВАр

корона, шунт ВЛ/Зар - $dP = -0.000$ МВт, $dQ = -3579.546$ МВАр

> трансформаторы - $dP = 1.332$ МВт, $dQ = 77.118$ МВАр

шунт АТ - $P_{ш} = 1.356$ МВт, $Q_{ш} = 6.507$ МВАр

> шунт узла - $P_{ш} = 0.000$ МВт, $Q_{ш} = 1576.985$ МВАр

> сумма - $dP = 5.140$ МВт, $dQ = -1870.876$ МВАр

№нач	№кон	Рнач	Ркон	dP	Ин	Пк	Qнач	Qкон	dQ	Qзар
		МВт	МВт	МВт	кА	кА	МВАр	МВАр	МВАр	МВАр
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
82601	82501	41,98	-41,81	0,177	0,09	0,262	36,1	-33,49	2,168	0,44
1100	6500	5,4	-5,4	0	0,027	0,027	0,46	-0,46	0	0
3800	9300	5,87	-5,86	0,006	0,031	0,032	2,26	-2,7	0,015	-0,46
9300	7100	2,46	-2,46	0	0,014	0,014	1,22	-1,23	0	-0,01
3200	7800	4,74	-4,74	0,001	0,025	0,025	1,62	-1,74	0,003	-0,12
7300	7400	2,83	-2,83	0,002	0,015	0,016	0,85	-1,55	0,005	-0,7
7000	3800	5,97	-5,97	0,003	0,031	0,032	2,15	-2,36	0,007	-0,22
6600	9300	-3,4	3,4	0	0,018	0,018	-1,5	1,49	0	-0,01
7400	4200	9,5	-9,5	0,001	0,051	0,051	4,08	-4,1	0,002	-0,02
7100	3700	6	-6	0	0,033	0,033	2,78	-2,8	0,001	-0,02
4500	7600	0	0	0	0	0	0	-0,01	0	-0,01
3300	7800	0	0	0	0	0	0	-0,01	0	-0,01
7400	4400	-6,67	6,68	0,002	0,036	0,035	-2,53	2,41	0,006	-0,13
7600	4400	6,98	-6,98	0,002	0,037	0,037	2,42	-2,51	0,004	-0,09
14300	10400	-3,6	3,6	0	0,018	0,018	-0,36	0,36	0	0
10200	16000	3,07	-3,07	0	0,015	0,015	-0,06	0,06	0	0
82201	82302	-108,0	108,4	0,33	0,196	0,613	-52,62	59,97	6,781	0,58
80103	80205	38,97	-38,79	0,187	0,063	0,192	-1,92	3,2	0,697	0,58
80103	80205	38,6	-38,43	0,173	0,063	0,191	-1,71	3,14	0,69	0,74
10700	15600	0,87	-0,87	0	0,004	0,004	-0,23	0,23	0	0
81805	81902	34,87	-34,73	0,146	0,061	0,183	14,87	-13,46	1,002	0,41
600	700	5,5	-5,5	0,003	0,029	0,03	2,22	-2,4	0,006	-0,19
2300	800	0,9	-0,9	0	0,005	0,005	0,31	-0,5	0	-0,19
15900	10400	-3,8	3,81	0,008	0,021	0,019	-1,9	0,73	0,016	-1,19
9000	9500	0,2	-0,2	0	0,008	0,001	-1,51	0,08	0,001	-1,43
8600	400	0	0	0	0,001	0	-0,1	0	0	-0,1
3000	14300	-1,1	1,1	0,001	0,006	0,007	-0,5	-0,84	0,001	-1,34
15000	11900	6,63	-6,61	0,02	0,034	0,033	-1,64	0,57	0,042	-1,11
11900	13900	2,91	-2,9	0,005	0,019	0,016	-2,37	1,34	0,01	-1,04
10800	14100	1,76	-1,76	0,001	0,009	0,01	0,64	-1,07	0,001	-0,43
10900	11000	-2,74	2,74	0,005	0,014	0,016	0,27	-1,66	0,01	-1,4
14000	10700	2,67	-2,67	0,002	0,013	0,014	0,01	-0,67	0,004	-0,67
10200	10100	-4,77	4,78	0,006	0,025	0,026	1,66	-2,23	0,013	-0,58
16000	14000	3,07	-3,07	0,001	0,015	0,015	-0,06	-0,21	0,002	-0,27
15600	10800	3,27	-3,26	0,004	0,017	0,016	-1,19	0,26	0,009	-0,95
15200	14200	-1,24	1,24	0,001	0,006	0,007	-0,33	-0,63	0,001	-0,96

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14200	10900	-1,34	1,34	0	0,007	0,008	0,53	-0,97	0,001	-0,44
11000	11800	-5,95	5,95	0,009	0,03	0,03	1	-1,48	0,016	-0,49
11800	11700	-6,15	6,16	0,008	0,031	0,032	1,38	-1,74	0,013	-0,38
15600	13900	-2,4	2,4	0,002	0,013	0,014	0,97	-1,54	0,004	-0,58
11600	11500	3,91	-3,9	0,003	0,02	0,02	-1,11	0,64	0,006	-0,48
11500	11400	3,5	-3,5	0,003	0,018	0,017	-0,84	0,3	0,006	-0,55
11400	11300	2,5	-2,5	0,001	0,013	0,012	-0,8	0,29	0,003	-0,51
11300	11200	2,3	-2,3	0,001	0,012	0,011	-0,39	-0,12	0,002	-0,51
11200	11100	1,8	-1,8	0,001	0,009	0,009	-0,08	-0,55	0,002	-0,64
11100	16100	-0,1	0,1	0	0,004	0,001	-0,75	0,05	0	-0,69
12400	12600	-4,4	4,41	0,005	0,022	0,022	0,5	-1,18	0,011	-0,69
12600	1600	-4,51	4,51	0,005	0,023	0,023	1,08	-1,52	0,008	-0,45
12100	12200	-2	2	0,001	0,01	0,01	-0,22	-0,39	0,002	-0,61
1700	6500	0	0	0	0	0,007	0	-1,37	0,001	-1,37
6400	2300	9,01	-8,98	0,032	0,049	0,05	4,33	-4,79	0,046	-0,51
12400	8400	2,8	-2,8	0,002	0,014	0,014	-0,9	0,52	0,003	-0,39
8400	12200	2,5	-2,5	0	0,012	0,012	-0,29	0,19	0,001	-0,1
10200	12000	1,3	-1,3	0,001	0,011	0,009	-1,8	1,15	0,002	-0,65
12000	14500	1,3	-1,3	0,001	0,009	0,007	-1,15	0,37	0,002	-0,79
14500	6000	0,8	-0,8	0	0,005	0,004	-0,47	-0,1	0	-0,57
6000	6100	0,7	-0,7	0	0,003	0,004	0	-0,3	0	-0,3
5900	5500	4,12	-4,11	0,005	0,021	0,02	-0,83	0,21	0,009	-0,62
4900	4800	-2,9	2,91	0,003	0,015	0,016	0,7	-1,28	0,005	-0,58
13800	13700	0,7	-0,7	0	0,005	0,007	0,62	-1,26	0,001	-0,64
83700	13400	-11,73	11,77	0,038	0,058	0,058	0,96	-1,44	0,065	-0,55
2800	83700	-3,71	3,73	0,021	0,028	0,035	4,29	-5,96	0,055	-1,73
81001	81102	26,52	-26,38	0,135	0,044	0,127	5,01	-3,34	0,51	1,16
30700	38800	-3,4	3,4	0	0,018	0,018	-1,7	1,66	0	-0,04
38800	38700	-4,7	4,7	0,002	0,025	0,025	-2,26	2,09	0,004	-0,17
38700	30800	14,85	-14,8	0,05	0,072	0,072	1,91	-2,33	0,085	-0,5
20900	21000	8,44	-8,43	0,015	0,041	0,041	1,51	-1,95	0,026	-0,47
21000	21100	7,93	-7,91	0,012	0,039	0,039	1,65	-2,04	0,021	-0,41
21100	21300	5,61	-5,6	0,009	0,028	0,028	1,16	-1,76	0,016	-0,61
23300	23200	5,72	-5,71	0,007	0,028	0,029	1,57	-2	0,012	-0,44
23200	24400	5,31	-5,3	0,009	0,027	0,028	1,82	-2,39	0,015	-0,58
23100	24400	-5,3	5,3	0	0,028	0,028	-2,39	2,39	0	0
39100	23300	5,85	-5,85	0,008	0,029	0,029	1,17	-1,63	0,013	-0,48
39100	30100	0,9	-0,9	0	0,004	0,005	0,15	-0,3	0	-0,15

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
38200	38300	2,7	-2,7	0	0,014	0,014	1,06	-1,16	0,001	-0,1
38300	30600	2	-2	0	0,011	0,011	0,96	-1	0	-0,04
38300	35800	0,7	-0,7	0	0,003	0,003	0,2	-0,2	0	0
31400	36100	1,38	-1,38	0	0,007	0,007	0,48	-0,48	0	0
37600	37700	6,21	-6,2	0,003	0,033	0,034	2,9	-3,03	0,005	-0,14
37700	34300	5,3	-5,3	0,003	0,029	0,03	2,74	-3	0,007	-0,26
34000	33900	17,93	-17,93	0	0,117	0,117	15,74	-15,74	0	0
37700	34500	0,9	-0,9	0	0,005	0,005	0,29	-0,4	0	-0,11
38600	33800	0,9	-0,9	0	0,005	0,005	0,28	-0,4	0	-0,12
32000	37500	-3,19	3,19	0,002	0,016	0,016	-0,81	0,48	0,003	-0,33
37500	31800	-3,79	3,79	0,001	0,019	0,018	-0,5	0,4	0,001	-0,09
37600	37800	-6,62	6,63	0,002	0,034	0,034	-2,51	2,36	0,006	-0,16
31700	37500	-0,6	0,6	0	0,003	0,003	-0,3	0,02	0	-0,28
31900	37800	-0,8	0,8	0	0,004	0,004	-0,3	0,23	0	-0,07
31500	32000	-3,19	3,19	0	0,016	0,016	-0,81	0,81	0	0
31300	37200	0	0	0	0,005	0,001	-1,12	0,14	0	-0,98
32200	37300	1,3	-1,3	0	0,008	0,007	-1,04	0,66	0,001	-0,38
37300	37400	0,8	-0,8	0	0,005	0,004	-0,53	-0,06	0	-0,6
35300	37200	0	0	0	0	0,001	0	-0,14	0	-0,14
37300	32100	0,5	-0,5	0	0,002	0,002	-0,12	-0,1	0	-0,22
37400	35400	0,8	-0,8	0	0,004	0,004	0,06	-0,2	0	-0,14
31200	37000	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	-0,04
32300	37100	-0,2	0,2	0	0,001	0,001	0	-0,04	0	-0,04
33000	38400	-2,5	2,5	0,002	0,012	0,013	0,25	-0,76	0,003	-0,51
38400	33200	-1,8	1,8	0	0,009	0,009	-0,28	0,2	0	-0,08
46100	40000	-4,71	4,71	0	0,023	0,023	-1,91	1,91	0	0
40100	45300	0,51	-0,51	0	0,003	0,003	0,44	-0,44	0	0
40100	46100	-0,61	0,61	0	0,003	0,003	-0,39	-0,19	0	-0,58
44400	40100	-0,1	0,1	0	0	0,001	0	-0,05	0	-0,05
43800	43900	2,9	-2,9	0,002	0,013	0,014	-0,26	-0,49	0,004	-0,76
43900	44500	0	0	0	0,004	0	-0,91	0	0	-0,91
41300	47100	-4,7	4,7	0	0,026	0,026	-3	3	0	0
41600	47200	-2	2	0	0,01	0,01	-1	1	0	0
41400	47100	0	0	0	0	0	0	-0,02	0	-0,02
41500	47200	-1,2	1,2	0	0,006	0,006	-0,6	0,58	0	-0,02
47100	47000	-4,7	4,7	0,002	0,026	0,025	-2,98	2,74	0,004	-0,24
41200	47000	0	0	0	0	0	0	-0,09	0	-0,09
44100	44000	-0,3	0,3	0	0,002	0,004	-0,3	-0,78	0	-1,08

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
40900	40800	1,85	-1,85	0,002	0,013	0,011	-2	1,42	0,003	-0,59
81302	81402	33,24	-33,09	0,143	0,055	0,153	5,11	-3,86	0,812	0,43
81302	81402	33,24	-33,09	0,143	0,055	0,153	5,11	-3,86	0,812	0,43
43700	43800	3,71	-3,7	0,003	0,017	0,017	-0,44	-0,14	0,005	-0,59
40600	47600	-0,3	0,3	0	0,002	0,001	-0,15	-0,08	0	-0,23
45800	42200	9,26	-9,26	0	0,05	0,05	-5,41	5,41	0	0
42600	83800	17,81	-17,72	0,085	0,083	0,083	-0,96	0,42	0,145	-0,68
83800	45800	10,72	-10,66	0,061	0,056	0,054	-5,42	4,41	0,105	-1,11
42200	42300	3	-3	0,003	0,015	0,017	1,33	-2	0,005	-0,67
51000	54300	0,65	-0,65	0	0,004	0,004	0,37	-0,37	0	0
50700	55900	-3,7	3,7	0	0,021	0,021	-2,05	2,05	0	0
55700	51100	-0,3	0,3	0	0,004	0,004	-0,87	0,87	0	0
51100	51000	2,52	-2,52	0,001	0,013	0,014	1,08	-1,5	0,003	-0,42
55900	58000	-8,05	8,05	0,001	0,045	0,045	-4,37	4,34	0,002	-0,03
58100	55900	-4,35	4,35	0	0,024	0,024	-2,37	2,32	0,001	-0,05
57600	50700	-5,84	5,84	0,001	0,032	0,032	-3,02	2,97	0,002	-0,05
58200	58100	-4,35	4,35	0	0,024	0,024	-2,46	2,41	0,001	-0,06
57700	57600	-1,84	1,84	0	0,01	0,01	-1,01	0,95	0	-0,06
58300	58200	-2,95	2,95	0	0,017	0,017	-1,7	1,68	0	-0,02
57800	57700	-1,84	1,84	0	0,011	0,011	-1,25	1,23	0	-0,02
54300	58400	0,65	-0,65	0	0,004	0,004	0,37	-0,48	0	-0,11
58400	58300	-1,45	1,45	0	0,009	0,009	-1,18	1,04	0	-0,14
51000	57900	0,26	-0,26	0	0,001	0,002	0,12	-0,23	0	-0,11
57900	57800	-1,84	1,84	0	0,011	0,011	-1,43	1,29	0,001	-0,14
57900	51500	2,1	-2,1	0	0,013	0,014	1,66	-1,8	0,001	-0,15
58400	50900	2,1	-2,1	0	0,013	0,014	1,66	-1,8	0,001	-0,15
57800	51400	0	0	0	0	0	-0,04	0	0	-0,04
58300	50800	1,5	-1,5	0	0,008	0,008	0,66	-0,7	0	-0,04
57700	55000	0	0	0	0,001	0	-0,22	0	0	-0,22
54900	58200	-1,4	1,4	0	0,008	0,008	-1	0,78	0	-0,22
57600	55200	4	-4	0	0,022	0,022	2,07	-2,1	0,001	-0,03
55700	57200	-1,8	1,8	0	0,01	0,01	-0,93	0,78	0	-0,16
51100	57400	-2,82	2,82	0,001	0,017	0,016	-1,95	1,79	0,001	-0,16
51200	57200	-2,1	2,1	0	0,014	0,013	-1,8	1,78	0	-0,02
51300	57400	-1,7	1,7	0	0,01	0,01	-1	0,98	0	-0,02
50700	57500	-6,14	6,14	0	0,034	0,034	-3,42	3,39	0,001	-0,03
82102	82002	87,31	-87,01	0,3	0,157	0,458	41,33	-35,98	4,148	1,2
82801	83901	62	-61,73	0,267	0,114	0,333	32,92	-29,9	2,166	0,85

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
58500	51800	18,43	-18,3	0,129	0,096	0,098	6,58	-7,32	0,328	-1,07
55300	52600	3,1	-3,1	0,001	0,018	0,018	1,82	-1,9	0,001	-0,08
52900	56000	-0,3	0,3	0	0,002	0,003	-0,2	-0,64	0	-0,84
56000	53100	-0,7	0,7	0	0,004	0,006	0,44	-0,96	0	-0,52
53100	53200	-5,7	5,71	0,008	0,03	0,029	-2,04	1,58	0,015	-0,48
53200	53300	-6,01	6,02	0,007	0,031	0,03	-1,78	1,41	0,013	-0,39
53400	56200	10,55	-10,52	0,029	0,055	0,056	3,88	-4,41	0,061	-0,59
53500	53600	-2	2	0,001	0,011	0,01	-1	0,67	0,001	-0,33
53600	53700	-2,5	2,5	0,002	0,013	0,012	-0,87	0,34	0,003	-0,53
53700	53800	-2,8	2,8	0,002	0,014	0,014	-0,44	-0,12	0,004	-0,56
34000	38500	-17,93	17,94	0,007	0,117	0,117	-15,74	15,72	0,012	-0,03
33700	33600	-3,61	3,61	0,003	0,018	0,018	0,56	-0,98	0,005	-0,42
33600	39200	-4,61	4,62	0,006	0,023	0,023	0,48	-1,02	0,01	-0,55
39200	33400	-5,02	5,02	0,001	0,025	0,025	0,84	-0,93	0,002	-0,1
42700	42800	5,12	-5,1	0,013	0,029	0,027	-3,82	2,84	0,024	-1
42800	42900	2,8	-2,8	0,003	0,013	0,013	-0,44	-0,51	0,005	-0,95
42900	44700	0,6	-0,6	0	0,004	0,003	-0,59	0,09	0	-0,5
43000	44200	1,1	-1,1	0,001	0,006	0,007	-0,28	-1	0,001	-1,28
43100	43200	-3,5	3,51	0,003	0,017	0,017	-0,09	-0,41	0,005	-0,51
43300	43500	0	0	0	0,007	0,003	-1,46	0,57	0,001	-0,89
43500	43600	-0,3	0,3	0	0,004	0,002	-0,72	0,15	0	-0,57
31400	31500	-3,18	3,19	0,004	0,017	0,016	-1,48	0,81	0,006	-0,67
36100	37600	-0,42	0,42	0	0,003	0,003	-0,52	-0,39	0	-0,91
34200	38500	0	0	0	0	0,001	0	-0,22	0	-0,22
33000	32900	2,2	-2,2	0,002	0,011	0,011	-0,35	-0,46	0,003	-0,82
32900	32800	1,8	-1,8	0,001	0,009	0,01	0,31	-0,9	0,002	-0,59
35900	32700	0	0	0	0	0,002	0	-0,32	0	-0,32
32700	32600	-0,3	0,3	0	0,002	0,004	0,22	-0,73	0	-0,51
38600	33900	17,07	-17,07	0,007	0,112	0,113	15,25	-15,26	0,011	-0,03
9200	6300	13,08	-13,03	0,046	0,064	0,065	0,88	-1,63	0,118	-0,87
9100	1300	5,25	-5,24	0,01	0,031	0,029	-3,71	2,85	0,026	-0,89
15100	12100	-1,4	1,4	0,001	0,008	0,007	-0,7	0,02	0,001	-0,68
32200	34900	3,21	-3,2	0,006	0,018	0,015	-1,89	0,49	0,012	-1,41
34700	34600	0,2	-0,2	0	0,003	0,001	-0,59	0	0	-0,59
5700	5600	-1,1	1,1	0	0,005	0,006	0,19	-0,72	0,001	-0,54
31000	31100	12,82	-12,77	0,052	0,063	0,064	2,33	-2,9	0,089	-0,65
31100	35500	6,77	-6,75	0,018	0,034	0,035	1,62	-2,37	0,032	-0,78
35500	36200	6,35	-6,34	0,005	0,033	0,033	2,27	-2,5	0,009	-0,24

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
30800	30900	14,4	-14,37	0,038	0,07	0,07	2,13	-2,46	0,065	-0,39
30900	31000	13,07	-13,02	0,044	0,064	0,064	1,86	-2,33	0,076	-0,55
31100	23400	1,9	-1,9	0,001	0,009	0,01	0,08	-0,9	0,003	-0,82
80503	80601	29,19	-29,02	0,173	0,048	0,143	5,44	-4,07	0,399	0,97
55600	54000	-4,6	4,61	0,01	0,025	0,023	-2,02	1,19	0,017	-0,85
54000	54100	-5,11	5,12	0,008	0,026	0,025	-1,39	0,78	0,014	-0,63
54100	54200	-5,62	5,63	0,005	0,028	0,028	-0,98	0,64	0,009	-0,35
54700	84200	19,07	-19,01	0,061	0,103	0,104	8,52	-8,74	0,13	-0,35
63500	84200	-7	7,01	0,006	0,038	0,037	-3	2,74	0,013	-0,27
84300	6300	-5	5	0,004	0,026	0,026	-1,96	1,71	0,006	-0,25
84300	63600	3	-3	0	0,016	0,016	0,96	-1	0	-0,04
12400	12500	0,6	-0,6	0	0,003	0,003	0	-0,2	0	-0,2
40800	45500	0,75	-0,75	0,001	0,01	0,007	-2,02	1,28	0,002	-0,74
45500	45600	0,7	-0,7	0	0,007	0,005	-1,28	0,65	0,001	-0,63
82801	80503	13,23	-13,22	0,009	0,05	0,022	-27,81	-3,62	0,062	-31,49
1300	1500	5,24	-5,23	0,014	0,029	0,027	-2,85	2,03	0,023	-0,84
1500	1600	5,13	-5,11	0,012	0,027	0,026	-2,13	1,32	0,02	-0,83
2300	8600	-2,61	2,61	0,002	0,013	0,013	-0,68	-0,13	0,005	-0,82
8600	300	-2,61	2,61	0	0,013	0,013	0,24	-0,45	0,001	-0,22
8500	6400	9,71	-9,71	0,001	0,053	0,053	4,62	-4,63	0,001	-0,01
1000	8800	0,4	-0,4	0	0,003	0,002	-0,36	-0,01	0	-0,38
900	8800	-0,4	0,4	0	0,002	0,002	-0,2	0,01	0	-0,19
2200	8500	0	0	0	0	0	0	-0,01	0	-0,01
600	8700	-2,61	2,61	0,002	0,013	0,013	-0,46	-0,37	0,005	-0,83
8700	100	-3,41	3,42	0,002	0,017	0,017	0,07	-0,63	0,005	-0,57
200	8700	-0,8	0,8	0	0,004	0,004	-0,4	0,3	0	-0,1
10100	8300	-5,78	5,8	0,021	0,03	0,032	1,73	-3,06	0,045	-1,37
8300	10000	0,4	-0,4	0	0,002	0,002	0,17	-0,2	0	-0,03
10400	9400	-8,51	8,54	0,027	0,043	0,042	-1,59	0,74	0,057	-0,91
9400	10300	0	0	0	0	0	-0,03	0	0	-0,03
13200	13300	-24,1	24,4	0,299	0,137	0,135	-10,7	10,49	0,513	-0,72
13300	15500	-26,1	26,37	0,274	0,145	0,144	-11,29	11,15	0,47	-0,61
2500	15500	28,84	-28,47	0,369	0,154	0,155	11,98	-12,15	0,782	-0,95
8100	2500	29,09	-29,04	0,047	0,154	0,155	12,06	-12,08	0,099	-0,12
8100	2400	0	0	0	0,001	0	-0,24	0	0	-0,24
13400	8000	-13,37	13,43	0,062	0,066	0,066	0,64	-1,24	0,106	-0,7
5800	8000	-0,8	0,8	0	0,004	0,004	-0,3	0,3	0	0
8200	13700	-0,5	0,5	0	0,003	0,003	-0,17	-0,24	0	-0,41

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8200	13600	0,5	-0,5	0	0,003	0,003	0,17	-0,2	0	-0,03
13800	2700	-1	1	0	0,006	0,005	-0,72	0,04	0,001	-0,68
84003	83002	29,38	-29,19	0,186	0,05	0,149	9,89	-8,6	0,417	0,88
4600	7600	6,98	-6,98	0,003	0,036	0,037	2,24	-2,42	0,008	-0,18
4600	4700	-6,98	6,99	0,005	0,036	0,036	-2,24	1,97	0,012	-0,28
3200	3100	-8,74	8,74	0,003	0,047	0,047	-3,62	3,54	0,006	-0,09
80205	300	3,22	-3,21	0,002	0,016	0,016	-0,71	0,15	0,005	-0,56
80205	100	7,42	-7,42	0,001	0,037	0,037	1,22	-1,27	0,003	-0,05
80205	9000	1,5	-1,5	0,001	0,011	0,009	-1,7	1,18	0,002	-0,53
80205	10600	0	0	0	0,008	0	-1,57	0	0,001	-1,57
80205	2600	6,33	-6,3	0,027	0,032	0,034	0,82	-2,7	0,068	-1,94
80205	4800	3,31	-3,31	0,004	0,018	0,017	-1,62	1,08	0,006	-0,55
80205	3100	9,56	-9,54	0,015	0,05	0,051	3,54	-3,94	0,038	-0,44
80205	4700	16,51	-16,49	0,028	0,087	0,087	5,96	-6,17	0,072	-0,29
80205	7000	8,48	-8,47	0,008	0,044	0,045	2,95	-3,25	0,022	-0,33
82501	8100	29,14	-29,09	0,056	0,154	0,154	11,79	-11,82	0,119	-0,15
82501	8000	14,25	-14,23	0,019	0,07	0,07	-1,1	0,94	0,032	-0,19
82501	80205	-1,59	1,73	0,139	0,112	0,115	22,8	-23,18	0,274	-0,65
54200	54400	-6,13	6,14	0,01	0,03	0,03	-0,84	0,16	0,021	-0,7
55600	84100	4	-4	0,003	0,021	0,022	1,72	-2	0,005	-0,28
13100	13000	-2,92	2,93	0,003	0,015	0,015	-0,9	0,27	0,005	-0,63
13000	12900	-3,33	3,33	0,002	0,017	0,017	-0,47	0,19	0,003	-0,29
12900	12800	-6,13	6,14	0,016	0,032	0,031	-1,59	0,65	0,033	-0,97
12800	14800	-10,54	10,58	0,036	0,054	0,054	-2,75	2,07	0,076	-0,75
14800	12700	-10,88	10,9	0,019	0,055	0,055	-2,27	1,93	0,04	-0,38
82302	11600	4,11	-4,11	0,009	0,023	0,021	-2,13	1,01	0,018	-1,13
82302	13100	8,43	-8,38	0,059	0,043	0,048	1,78	-4,6	0,196	-3,02
82302	9400	8,54	-8,54	0,002	0,042	0,042	0,63	-0,71	0,005	-0,08
82302	8300	6,2	-6,2	0,002	0,034	0,034	-2,97	2,89	0,003	-0,08
82302	15000	6,73	-6,73	0,006	0,035	0,034	-1,83	1,54	0,012	-0,31
82302	11700	6,38	-6,36	0,018	0,034	0,033	-2,59	1,64	0,038	-0,99
55100	58100	0	0	0	0	0	0	-0,03	0	-0,03
43300	43400	-4	4,01	0,009	0,021	0,02	-1,34	0,27	0,015	-1,08
50600	57500	-2	2	0	0,011	0,011	-1	0,96	0	-0,04
51600	57000	-0,9	0,9	0	0,005	0,005	-0,4	0,39	0	-0,01
51700	58500	0	0	0	0	0,001	0	-0,2	0	-0,2
55300	54800	-3,4	3,4	0,004	0,02	0,018	-2,02	1,47	0,007	-0,56
54800	52500	-3,7	3,71	0,004	0,02	0,019	-1,67	1,2	0,007	-0,48

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
52500	52400	-4,81	4,81	0,005	0,025	0,025	-1,7	1,34	0,008	-0,36
52400	51800	-5,01	5,02	0,006	0,026	0,025	-1,44	0,99	0,011	-0,47
32600	32500	-1	1	0	0,005	0,007	0,53	-0,94	0	-0,41
32500	32400	-1	1	0	0,007	0,007	0,94	-1,05	0	-0,12
32400	31300	-3,8	3,81	0,007	0,018	0,019	0,35	-1,15	0,009	-0,81
31300	37000	-3,81	3,81	0,005	0,021	0,023	2,27	-3,07	0,012	-0,81
32200	37100	-6,71	6,72	0,013	0,034	0,036	2,62	-3,4	0,031	-0,81
9200	6200	0,9	-0,9	0	0,005	0,005	0,34	-0,4	0	-0,06
9100	1400	0,4	-0,4	0	0,002	0,002	0,14	-0,2	0	-0,06
80601	54400	6,64	-6,64	0,002	0,032	0,032	0,2	-0,36	0,006	-0,17
80601	63000	16,21	-16	0,212	0,082	0,085	4,61	-6	0,42	-1,81
80601	54700	15,78	-15,67	0,113	0,086	0,088	7,82	-8,52	0,24	-0,94
80601	9100	5,66	-5,65	0,009	0,034	0,033	-4,19	3,57	0,023	-0,64
80601	9200	14,02	-13,98	0,038	0,068	0,069	0,68	-1,22	0,096	-0,63
80503	61100	119,56	-119	0,564	0,195	0,206	-8,84	-40	4,558	-53,4
34900	34800	1,5	-1,5	0,001	0,009	0,007	-1,29	0,46	0,002	-0,83
34800	34700	1,4	-1,4	0	0,007	0,007	-0,46	-0,01	0,001	-0,46
35200	38200	-11	11	0,004	0,055	0,054	-3,04	2,89	0,015	-0,16
30500	35600	-1,5	1,5	0	0,007	0,007	-0,4	0,24	0	-0,16
36900	38800	-1,3	1,3	0	0,007	0,007	-0,6	0,6	0	0
37900	38000	2,9	-2,9	0	0,015	0,015	1,22	-1,26	0	-0,04
24000	23900	-1,6	1,6	0,001	0,008	0,009	0,25	-1,06	0,002	-0,81
23900	23800	-1,9	1,9	0,001	0,01	0,011	0,86	-1,27	0,001	-0,41
23800	23700	-2,1	2,1	0,002	0,011	0,014	1,17	-1,96	0,004	-0,8
39300	30000	3	-3	0,001	0,014	0,015	0,23	-0,63	0,003	-0,4
30000	35700	2,8	-2,8	0,001	0,014	0,014	0,63	-1,1	0,003	-0,47
44800	44700	-0,3	0,3	0	0,002	0,002	-0,15	-0,24	0	-0,39
43000	47700	-2,9	2,9	0,001	0,014	0,014	-0,62	0,29	0,002	-0,33
47700	43100	-3	3	0,002	0,015	0,015	-0,17	-0,21	0,003	-0,38
45100	47700	-0,1	0,1	0	0,001	0,001	-0,05	-0,12	0	-0,17
50500	58000	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	-0,04
51800	51900	11,28	-11,26	0,021	0,061	0,062	4,93	-5,31	0,055	-0,43
51900	52000	11,06	-11,02	0,039	0,061	0,063	5,21	-5,88	0,098	-0,77
55400	55500	9,02	-9	0,019	0,051	0,053	4,88	-5,36	0,049	-0,53
83300	95300	3	-3	0	0,016	0,016	0,86	-1	0,001	-0,14
52000	55400	9,02	-9,02	0	0,051	0,051	4,88	-4,88	0	0
55500	83300	8	-8	0	0,046	0,046	4,36	-4,36	0	0
41900	45700	3,1	-3,1	0	0,015	0,015	1,03	-1,03	0	0

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
95200	83200	-4	4	0,002	0,022	0,021	-2	1,68	0,005	-0,32
82002	53400	11,09	-11,05	0,044	0,056	0,058	3,43	-4,18	0,093	-0,85
82002	50300	6,32	-6,3	0,017	0,034	0,036	2,97	-3,64	0,029	-0,7
82002	54500	7,44	-7,41	0,026	0,037	0,038	1,26	-2,17	0,045	-0,95
82002	58000	8,06	-8,05	0,017	0,043	0,045	3,66	-4,31	0,043	-0,69
82002	57500	8,16	-8,14	0,017	0,044	0,045	3,7	-4,35	0,044	-0,69
82002	57000	5,41	-5,41	0,004	0,028	0,029	2,16	-2,53	0,01	-0,38
82002	58500	18,5	-18,43	0,071	0,095	0,096	5,94	-6,38	0,181	-0,62
82002	83200	6,51	-6,5	0,008	0,033	0,034	2,18	-2,68	0,019	-0,52
42000	46000	5,1	-5,1	0	0,035	0,035	-5,58	5,58	0	0
42200	42100	6,26	-6,22	0,033	0,043	0,039	-6,75	5,72	0,057	-1,08
42100	42000	5,12	-5,1	0,019	0,038	0,035	-6,32	5,58	0,032	-0,77
46000	41900	3,1	-3,1	0,004	0,021	0,019	-3,18	2,57	0,007	-0,62
41800	41700	-1,6	1,6	0	0,008	0,008	-0,9	0,35	0,001	-0,55
45200	45700	-0,1	0,1	0	0,001	0,005	-0,1	-0,97	0	-1,07
40400	47500	-4,91	4,91	0,004	0,023	0,024	1,24	-1,74	0,008	-0,5
47400	45300	0,49	-0,49	0	0,002	0,003	0,16	-0,56	0	-0,41
40200	47400	-2	2	0	0,011	0,011	-1,3	1,3	0	0
40300	47500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40400	40500	4,91	-4,9	0,006	0,023	0,023	-1,24	0,62	0,01	-0,64
40500	47600	0,3	-0,3	0	0,007	0,004	-1,42	0,7	0,001	-0,71
47600	40700	0	0	0	0,003	0	-0,62	0	0	-0,62
93000	83400	4,53	-4,52	0,013	0,027	0,023	-3,24	1,86	0,027	-1,41
83400	40900	1,86	-1,85	0,005	0,018	0,013	-3,18	2	0,009	-1,18
81402	41700	2,8	-2,8	0	0,014	0,014	0,98	-1,05	0	-0,07
81402	42700	8,96	-8,92	0,039	0,05	0,048	-6,17	5,32	0,067	-0,92
81402	43700	4,01	-4,01	0,001	0,019	0,018	-0,58	0,34	0,003	-0,24
81402	47500	4,92	-4,91	0,01	0,026	0,024	-2,87	1,74	0,021	-1,15
81402	47400	2,49	-2,49	0,002	0,012	0,013	0,31	-1,46	0,005	-1,15
81402	45900	7,01	-7	0,007	0,036	0,037	3,72	-4	0,012	-0,29
81402	40000	7,42	-7,41	0,007	0,037	0,037	2,86	-3,21	0,015	-0,36
81402	47200	3,2	-3,2	0,001	0,016	0,016	1,19	-1,58	0,003	-0,39
81402	47000	4,7	-4,7	0,001	0,025	0,025	2,52	-2,65	0,002	-0,14
81402	41100	1	-1	0	0,006	0,007	0,77	-1	0	-0,23
81402	44000	1	-1	0,001	0,007	0,005	-1,29	0,08	0,001	-1,21
81402	42600	18,68	-18,51	0,178	0,086	0,086	-1,72	0,56	0,335	-1,49
81001	81102	29,43	-29,14	0,29	0,049	0,14	6,53	-3,47	0,562	2,5
81001	81102	28,72	-28,51	0,212	0,048	0,137	5,79	-3,35	0,55	1,89

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80301	80401	43,25	-43,07	0,181	0,072	0,205	2,04	-0,06	1,387	0,6
21200	21100	-2,2	2,2	0,002	0,013	0,011	-1,5	0,82	0,003	-0,68
22900	22800	-2,6	2,6	0,004	0,013	0,013	-0,58	-0,36	0,005	-0,94
22800	22700	-2,9	2,91	0,004	0,014	0,015	0,21	-1,12	0,006	-0,92
22700	22600	-4,11	4,11	0,007	0,02	0,02	0,52	-1,2	0,01	-0,69
22600	22500	-4,31	4,32	0,008	0,021	0,022	1,11	-1,77	0,011	-0,67
21400	21500	3,6	-3,6	0,001	0,017	0,018	0,46	-0,68	0,002	-0,22
24000	24200	1,1	-1,1	0,001	0,006	0,006	-0,59	-0,7	0,001	-1,29
38100	21800	0,8	-0,8	0	0,005	0,004	-0,83	0,36	0	-0,47
21800	21700	0,6	-0,6	0	0,004	0,003	-0,45	-0,27	0	-0,72
24300	21600	-1,3	1,3	0,001	0,008	0,006	-1	0,34	0,001	-0,66
21600	21500	-1,9	1,9	0,002	0,01	0,009	-0,61	-0,32	0,003	-0,94
30200	39000	-2,4	2,4	0	0,013	0,013	-1,2	1,11	0	-0,09
39000	38900	-2,4	2,4	0	0,013	0,012	-1,06	1,02	0	-0,04
36500	39000	0	0	0	0	0	0	-0,04	0	-0,04
30300	38000	-1,9	1,9	0	0,01	0,01	-0,9	0,81	0	-0,09
36400	38000	-1	1	0	0,005	0,005	-0,5	0,46	0	-0,04
39100	39300	-6,75	6,76	0,009	0,033	0,033	-1,31	0,89	0,016	-0,44
81102	37000	3,81	-3,81	0,002	0,024	0,023	-3,34	3,11	0,004	-0,23
81102	37100	6,92	-6,92	0,004	0,037	0,037	-3,67	3,44	0,01	-0,23
81102	38700	19,58	-19,56	0,022	0,095	0,095	3,91	-4	0,037	-0,12
81102	36300	0	0	0	0,001	0	-0,23	0	0	-0,23
81102	36700	7	-7	0,005	0,036	0,036	2,78	-3	0,01	-0,23
81102	35100	9,51	-9,5	0,01	0,049	0,049	3,66	-3,86	0,017	-0,21
81102	39300	9,78	-9,77	0,016	0,047	0,047	0,78	-1,12	0,027	-0,37
24100	20400	-0,74	0,74	0	0,004	0,004	-0,37	0,37	0	0
24100	20600	4	-4	0,003	0,02	0,021	1,39	-1,98	0,008	-0,59
20500	20400	2,74	-2,74	0,001	0,014	0,015	0,86	-1,37	0,003	-0,51
20300	24100	3,26	-3,26	0,001	0,016	0,016	0,86	-1,03	0,001	-0,16
80809	80905	-765,3	766,95	1,645	0,579	1,258	56,71	3,7	56,95	3,46
82701	82601	472,81	-471,7	1,043	0,353	0,767	0,95	22,27	20,17	3,05
22200	35000	-0,5	0,5	0	0,003	0,007	-0,2	-1,42	0,001	-1,62
23000	22900	-0,2	0,2	0	0,001	0,003	-0,09	-0,62	0	-0,71
22500	22400	-4,62	4,63	0,005	0,023	0,024	1,64	-2	0,007	-0,37
83002	2800	0,69	-0,69	0,003	0,027	0,029	5,51	-5,79	0,007	-0,28
83002	2700	1,1	-1,1	0	0,006	0,005	-0,57	-0,14	0,001	-0,71
83002	75600	2	-2	0,002	0,01	0,011	-0,15	-1	0,004	-1,15
82401	83100	3	-3	0,001	0,016	0,016	0,96	-1,3	0,003	-0,34

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80809	70300	748,12	-747,3	0,761	0,651	0,614	-428,9	-322,5	14,9	-766,4
80809	94500	17,14	-17,14	0,001	0,189	0,202	-249,9	-267,2	0,027	-517,2
20600	20700	3,5	-3,5	0,001	0,019	0,019	1,78	-2	0,003	-0,23
81902	2000	-0,23	0,23	0	0,004	0,002	-0,69	0,34	0	-0,35
81902	8500	9,74	-9,71	0,031	0,052	0,053	4,13	-4,6	0,051	-0,53
81902	1800	25,22	-25,1	0,117	0,134	0,136	10,71	-11	0,391	-0,68
81902	1900	0	0	0	0,003	0	-0,69	0	0	-0,69
90500	82102	164	-162,7	1,227	0,268	0,266	-22	-12,66	6,789	-41,45
81302	90700	-8,98	9	0,02	0,022	0,075	10,44	-45	0,176	-34,73
90100	80905	556,99	-548,7	8,243	0,914	0,909	-50	77,12	56,21	-29,09
80301	71200	287,88	-283	4,878	0,478	0,49	24,41	-49	28,65	-53,24
84003	71000	160,8	-159	1,801	0,262	0,275	-11,04	-46	10,94	-67,98
82302	86500	-166,0	166,5	0,485	0,87	5,3	-57,79	68,18	8,564	1,82
82302	823900	1,2	-1,2	0	0,007	0,007	0,6	-0,6	0	0
80103	82601	-116,9	117,08	0,093	0,193	0,195	20,48	-27,22	0,633	-7,37
81805	80103	50,5	-50,43	0,066	0,084	0,086	-12,28	-16,62	0,449	-29,35
81805	81001	-85,37	85,67	0,295	0,138	0,153	-2,59	-39,33	2,015	-43,94
81302	81001	-57,5	57,59	0,095	0,099	0,099	-20,66	-20,74	0,818	-42,21
82102	82801	75,46	-75,23	0,23	0,132	0,123	-28,66	-5,11	1,267	-35,04
80301	80905	-331,1	333,29	2,161	0,55	0,548	-26,45	20,43	14,65	-20,67
84003	82601	-190,1	191,33	1,154	0,31	0,314	1,15	-28,81	7,884	-35,54
82002	55800	4,52	-4,52	0,006	0,023	0,025	1,68	-2,5	0,016	-0,84
55800	57400	4,52	-4,52	0,002	0,025	0,026	2,5	-2,77	0,006	-0,28
57000	56100	4,51	-4,5	0,004	0,024	0,025	2,14	-2,59	0,009	-0,46
56100	57200	3,9	-3,9	0,002	0,022	0,023	2,29	-2,56	0,004	-0,28
52600	52700	3,1	-3,1	0	0,018	0,018	1,9	-1,9	0	0
52700	52800	0,3	-0,3	0	0,002	0,002	-0,1	-0,2	0	-0,3
58700	52900	-0,3	0,3	0	0,002	0,002	-0,2	0,2	0	0
35100	37900	4,7	-4,7	0,003	0,024	0,024	1,46	-1,7	0,005	-0,25
37900	30400	1,8	-1,8	0,001	0,009	0,01	0,48	-0,9	0,001	-0,42
81102	38900	3,71	-3,7	0,004	0,021	0,02	-2,49	2,03	0,006	-0,46
38900	38100	1,3	-1,3	0,001	0,016	0,015	-3,06	2,78	0,002	-0,28
38100	35000	0,5	-0,5	0,001	0,01	0,007	-1,95	1,42	0,001	-0,53
33500	39200	-0,4	0,4	0	0,002	0,002	-0,2	0,18	0	-0,02
7100	7200	-3,54	3,54	0,001	0,019	0,019	-1,55	1,36	0,002	-0,2
7200	3400	-4,74	4,74	0	0,025	0,025	-1,85	1,85	0	-0,01
3600	7200	-1,2	1,2	0	0,006	0,006	-0,5	0,49	0	-0,01
3400	7900	-4,74	4,74	0	0,025	0,025	-1,85	1,84	0	-0,01

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
7900	7800	-4,74	4,74	0,001	0,025	0,025	-1,84	1,75	0,002	-0,09
3500	7900	0	0	0	0	0	0	-0,01	0	-0,01
4900	7500	2,6	-2,6	0,002	0,013	0,013	-0,8	0,28	0,003	-0,53
7500	5100	1,4	-1,4	0,001	0,008	0,007	-0,77	0,13	0,001	-0,63
5000	7500	-1,2	1,2	0	0,006	0,006	-0,5	0,48	0	-0,02
5100	7700	1,1	-1,1	0	0,006	0,006	-0,23	-0,33	0,001	-0,57
7700	2100	0,3	-0,3	0	0,001	0,002	-0,01	-0,1	0	-0,11
12300	8400	-0,3	0,3	0	0,002	0,002	-0,1	-0,23	0	-0,33
500	9000	-1,3	1,3	0	0,007	0,007	-0,6	0,33	0	-0,27
10500	9500	-0,2	0,2	0	0,001	0,001	-0,1	-0,08	0	-0,18
83100	74000	1	-1	0	0,005	0,007	0,3	-1	0,001	-0,7
3900	7000	-2,5	2,5	0	0,014	0,014	-1,2	1,1	0,001	-0,1
4100	7300	-2,5	2,5	0	0,014	0,013	-1,1	1	0,001	-0,1
6700	9600	-2,1	2,1	0	0,011	0,011	-0,9	0,9	0	0
4000	7300	5,33	-5,33	0,001	0,028	0,028	1,74	-1,85	0,003	-0,12
4000	9600	-17,03	17,04	0,014	0,092	0,092	-7,34	7,21	0,046	-0,17
80205	9600	19,17	-19,14	0,022	0,103	0,103	7,97	-8,11	0,075	-0,22
59900	82701	-104	104,11	0,112	0,294	0,269	-377,9	-344,4	2,2	-724,6
70300	82701	257,37	-256,8	0,57	0,371	0,271	-418,4	-256,2	11,16	-685,8
94500	82701	321,13	-320,1	1,009	0,456	0,357	-510,7	-355	19,77	-885,4
805300	8053400	0	0	0	0	0	0	0	0	0
805400	8053400	0	0	0	0	0	0	0	0	0
805500	8055600	0	0	0	0	0	0	0	0	0
806200	8061200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
806100	8061200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
80905	87100	-781,3	783	1,644	1,301	18,898	-136,2	214,18	71,25	6,69
32800	36800	0	0	0	0	0	0	0	0	0
81001	80905	-227,9	229,94	2,003	0,376	0,398	42,74	-77,16	17,27	-51,68
80401	22400	6,24	-6,23	0,01	0,031	0,03	-1,87	1,2	0,021	-0,69
80401	23500	1,9	-1,9	0	0,011	0,012	1,32	-1,5	0,001	-0,19
80401	23600	2	-2	0	0,01	0,011	0,81	-1	0,001	-0,19
80401	20900	8,66	-8,64	0,02	0,042	0,042	1,05	-1,61	0,034	-0,59
80401	23700	2,21	-2,2	0,002	0,016	0,014	-2,55	1,91	0,005	-0,64
80401	84400	3	-3	0,004	0,014	0,016	0,19	-1,5	0,009	-1,32
79100	80401	-3	3,01	0,007	0,015	0,02	0,73	-2,88	0,019	-2,16
80401	20300	8,29	-8,26	0,027	0,04	0,042	1,85	-2,86	0,058	-1,07
80401	20500	7,76	-7,74	0,02	0,038	0,04	2,13	-3,16	0,051	-1,08
80601	5600	1,2	-1,2	0	0,007	0,007	-0,81	0,62	0	-0,19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
80503	80601	30,72	-30,49	0,237	0,051	0,15	5,74	-4,24	0,419	1,08
1000	6500	-0,6	0,6	0	0,003	0,006	0,26	-1,17	0,001	-0,91
1200	1100	5,42	-5,4	0,02	0,027	0,027	-0,84	-0,46	0,034	-1,34
6300	1200	5,73	-5,72	0,008	0,029	0,028	-1,18	0,74	0,013	-0,45
21300	21400	4,2	-4,2	0	0,021	0,021	0,76	-0,76	0	0
81102	38200	13,71	-13,7	0,01	0,068	0,068	3,74	-3,95	0,033	-0,24
53300	56200	-6,02	6,02	0	0,03	0,03	-1,41	1,41	0	0
35600	35200	-7	7	0	0,035	0,035	-1,84	1,84	0	0
2300	600	10,69	-10,69	0	0,059	0,059	5,16	-5,16	0	0
82302	12700	16,01	-16	0,015	0,082	0,082	4,33	-4,43	0,032	-0,14
15200	14100	-1,76	1,76	0	0,01	0,01	-1,07	1,07	0	0
11000	16100	0,1	-0,1	0	0,001	0,001	0,05	-0,05	0	0
83002	5900	4,33	-4,32	0,014	0,024	0,021	-2,25	0,73	0,026	-1,54
83901	33400	5,32	-5,32	0,003	0,026	0,026	-0,93	0,73	0,004	-0,2
83901	38600	18,1	-17,97	0,123	0,114	0,117	15,11	-15,53	0,314	-0,73
83901	38500	18,06	-17,94	0,123	0,114	0,116	15,09	-15,5	0,313	-0,73
83901	37800	7,44	-7,43	0,012	0,037	0,038	2,1	-2,58	0,024	-0,51
83901	31800	4,19	-4,19	0,003	0,02	0,021	0,27	-0,6	0,005	-0,34
83901	33300	3,4	-3,4	0,002	0,017	0,018	0,96	-1,2	0,002	-0,24
83901	38400	0,71	-0,71	0	0,007	0,006	-1,28	1,04	0	-0,24
82201	34400	82,83	-82	0,834	0,166	0,232	59	-110	4,945	-55,94
82201	53000	255,79	-253	2,794	0,44	0,468	85,02	-110	22,43	-47,41
82601	82201	121,36	-121,0	0,343	0,197	0,203	-2,33	-28,33	2,949	-33,61
82201	80103	-89,64	89,84	0,203	0,156	0,146	-33,52	-0,24	1,747	-35,5
80503	82201	-166,3	167,67	1,311	0,271	0,289	1,27	-56,18	11,28	-66,19
79000	82900	5,01	-5	0,005	0,025	0,026	1,46	-2,1	0,014	-0,66
79100	76700	3	-3	0,004	0,015	0,015	-0,73	-1	0,011	-1,74
75400	79000	5,01	-5,01	0,001	0,025	0,025	1,4	-1,46	0,001	-0,06
97100	83600	2	-2	0,001	0,01	0,011	-0,12	-1	0,003	-1,12

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
96600	97200	2	-2	0	0,01	0,01	-0,2	0,19	0	-0,02
97100	97200	-2	2	0	0,01	0,01	0,12	-0,19	0	-0,07
5500	5400	3,91	-3,91	0,006	0,019	0,019	-0,31	-0,5	0,011	-0,82
5400	5300	3,21	-3,2	0,005	0,016	0,017	0,2	-1	0,008	-0,81
7700	5200	0,8	-0,8	0	0,004	0,004	0,34	-0,4	0	-0,06
77100	82401	-3	3	0,003	0,018	0,016	-1,92	1,19	0,007	-0,74
77100	75200	3	-3	0,001	0,018	0,018	1,92	-2	0,001	-0,08
39400	36200	-5,54	5,54	0,004	0,03	0,029	-2,38	2,1	0,008	-0,29
39400	2000	5,54	-5,53	0,009	0,03	0,03	2,38	-2,84	0,015	-0,47
20200	44900	2,2	-2,2	0,001	0,011	0,012	0,79	-1,1	0,001	-0,31
20200	23100	-2,2	2,2	0	0,011	0,011	-0,79	0,79	0	0
47800	43200	3,51	-3,51	0,003	0,018	0,017	-0,98	0,41	0,006	-0,57
47800	83901	-3,51	3,52	0,008	0,018	0,021	0,98	-2,43	0,017	-1,47
58800	33700	-2,81	2,81	0,002	0,014	0,014	0,45	-0,96	0,003	-0,52
58800	53800	2,81	-2,8	0,001	0,014	0,014	-0,45	0,12	0,002	-0,33
9800	36600	0	0	0	0,001	0	-0,29	0	0	-0,29
9800	5700	0	0	0	0,001	0,003	0,29	-0,69	0	-0,4
58900	43400	4,41	-4,41	0,002	0,022	0,022	0,31	-0,47	0,003	-0,16
58900	54500	-4,41	4,41	0,001	0,022	0,022	-0,31	0,17	0,002	-0,14
47900	44300	2,1	-2,1	0	0,013	0,013	1,49	-1,55	0	-0,06
47900	50300	-2,1	2,1	0,002	0,013	0,011	-1,49	0,64	0,004	-0,86
83002	9700	21,07	-21,02	0,042	0,107	0,108	6,05	-6,22	0,106	-0,28
82401	9700	-9,01	9,02	0,012	0,045	0,045	-1,67	1,23	0,031	-0,48
9700	2900	12	-12	0	0,064	0,064	5	-5	0	0
82201	86600	-175,4	176	0,519	0,291	5,06	-29,39	40,3	9,13	1,78
76900	82401	-3	3,01	0,006	0,016	0,015	-1,2	-0,48	0,013	-1,69

Список використаних джерел

1. «Закон України про засади функціонування ринку електричної енергії України, <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua>
2. Кириленко О.В. Балансующий рынок электроэнергетики и його математична модель / О.В. Кириленко, І.В. Блінов, Є.В. Парус. Технічна електродинаміка. — 2011. — № 2. — С. 36–43.
3. Барбашов И.В. Общая характеристика современных электрических систем и сетей. Учебно-методическое пособие. / И.В. Барбашов — Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. — 124 с.
4. Буслова Н.В. Электрические системы и сети / Н.В. Буслова, В.Н. Винославский, Г.И. Денисенко, В.С. Перхач; Под ред. Г.И. Денисенко. — К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. — 584 с.
5. Поспелов Г.Е. Электрические сети и системы. Учебник / Г.Е. Поспелов, В.Т. Федин, П.В. Лычев. — Минск: УП «Технопринт», 2004. — 720 с.
6. Добровольська Л.Н. Автоматизація розподільних електричних мереж в умовах балансуєного ринку електроенергії. / Л.Н. Добровольська, В.О. Лесько, В.В. Черкашина. — Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2014. — 208 с.
7. Бондаренко В.О. Системний підхід передпроектної оцінки повітряних ліній в умовах ринкових відносин. / В.О. Бондаренко, М.М. Черемісін, В.В. Черкашина. — Харків: Факт, 2013. — 260 с.
8. Черемісін Н.М., Черкашина В.В. Буславец О.А. Развитие воздушных линий 110–750 кВ в рамках концепции Smart grid // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. — Харків: ХНТУСГ, 2014. — Вип. 153. — С. 3–8.
9. Черемісін М.М., Черкашина В., Попадченко С.А. Особливості впровадження технологій Smart grid в електроенергетичну галузь України // Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК, 2015 — Харків: ХНТУСГ, 2015. — № 2(4). — С. 6–10.
10. Магидин Ф.А. Устройство и монтаж воздушных линий электропередачи / Ф.А. Магидин. — М.: «Высшая школа», 1971. — 255 с.
11. Краснощеков П.С. Математические методы в исследовании операций. — М.: Знание, 1994. — 64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Математика, кибернетика, № 7).
12. Лежнюк П.Д. Методи оптимізації в електроенергетиці. Критеріальний метод. / П.Д. Лежнюк, С.В. Бевз. — Вінниця: ВДТУ, 1999. — 177 с.
13. Уемов А.И. Системный подход и общая теория систем / А.И. Уемов. — М.: Мысль, 1978. — 262 с.
14. Черемісін М.М. Економічні розрахунки в інженерній діяльності. Навчальний посібник / М.М. Черемісін, В.І. Романченко // Харків: Факт, 2006. — 167 с.
15. Сборник нормативов удельных капитальных вложений в строительство воздушных линий электропередачи 35–750 кВ. Руководящие материалы / Минэнерго СССР, 1986. — 30 с.
16. Справочник по проектированию электрических сетей / И.Г. Карапетян, Д.Л. Файбисович, И.М. Шапиро. / Под ред. Л.Д. Файбисовича. — М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2005. — 320 с.

17. ГКД 340.000.001-95. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. (Загальні методичні положення). — К.: Міненерго України, 1995. — 34 с.
18. ГКД 340.000.002-97. Визначення економічної ефективності капіталовкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми та електричні мережі. — К.: Міненерго України, 1997. — 54 с.
19. Офіційний сайт Держкомітету по земельним ресурсам, <http://dkzr.gov.ua/>.
20. Державний комітет статистики України. Индексы инфляции нарастающим итогом с января 1998 года. // Ценообразование в строительстве. — 2008. — № 12. — С. 160.
21. Норми технологічного проектування енергетичних систем та електричних мереж 35 кВ та вище. К.: Міненерго України, 1994, <http://www.twirpx.com/>.
22. ДБН В.2.5-16-99. Інженерне обладнання споруд, зовнішніх мереж. Визначення розмірів земельних ділянок для об'єктів електричних мереж. — К.: Держбуд України, 1999. — 24 с.
23. Правила улаштування електроустановок. — Харків: «Індустрія», 2014. — 416 с.
24. Самарский А. А., Михайлов А. П. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры. 2-е изд., испр. — М.: Физматлит, 2001. — 216 с.
25. Наконечний С.І., Савіна С.С. Математичне програмування: Навч. посіб. — К.: КНЕУ, 2003. — 452 с.
26. Богаєнко І.М., Григорків В.С., Бойчук М.В., Рюмашин М.О. Математичне програмування: Навч. посіб. — К.: Логос, 1996. — 371 с.
27. Степанюк В. В. Методи математичного програмування. — К.: Вища шк., 1997. — 272 с.
28. Дж. Данциг «Лінійне програмування, його застосування та узагальнення». — М: Прогрес, 1966. — 153 с.
29. Беллман Р. Динамическое программирование / Р. Беллман — М.: Изд-во иностр. лит., 1960 — 400 с.
30. Черемисин Н.М. Критериальный метод анализа технико-экономических задач в электрических сетях и системах. Навчальний посібник / Н.М. Черемисин, В.В. Черкашина. — Харків: «Факт», 2014. — 96 с.
31. Чумаков В.В. Принятие решения в условиях объективной и субъективной неопределенности / В.В. Чумаков, И.В. Чумаков — М.: ВЦ АН СССР, 1991. — 35 с.
32. Дерзкий В. Г. Принятие решений в электроэнергетике при нескольких критериях / В. Г. Дерзкий // Электричество. — 1991. — № 1. — С. 17–25.
33. Астахов Ю.Н. Критериальный метод и его применение для анализа систем электроснабжения. Учебное пособие / Ю.Н. Астахов, Н.М. Черемисин, Б.М. Ильченко. — Харьков: ХИМЭСХ, 1986. — 45 с.
34. Лежнюк П.Д. Аналіз чутливості оптимальних рішень в складних системах критеріальним методом / П.Д. Лежнюк. Монографія. — Вінниця: Універсум-Вінниця, 2003. — 131 с.
35. Черкашина В.В. Реализация технико-экономических задач в электроэнергетике критериальным методом / В.В. Черкашина // Інтегровані технології та енергозбереження. — Харків: НТУ «ХПІ». — 2007. — № 4. — С. 53–56.
36. Бондаренко В.О. Розробка методології контролю та діагностики параметрів об'єктів електричних мереж власних потреб гідроелектростанцій / В.О. Бондаренко, В.В. Черкашина, Б.М. Горкунов та ін. // Звіт про виконання НДР № 37551 від 12.06.2015р. — Харків: НТУ «ХПІ», 2015. — 139 с.
37. P.D. Lezhniuk, M.M. Cheremisin, V.V. Cherkashyna Unification of overhead lines in the conditions of the market of two-party agreements and balancing electric energy y market // Energetics and electrical enginee-ring, 2013, № 4 — 8 <http://praci.vntu.edu.ua/article/view/3444/5059>
38. Будзко И.А. Унификация воздушных линий электропередач / И.А. Будзко, Ю.Н. Астахов, Н.М. Черемисин // Электричество — 1982. — № 2. — С. 1–11.
39. Файбисович Д.Л. Предложения по унификации сечений проводов воздушных линий напряжением 110–750 кВ / Д.Л. Файбисович // Энергетик. — 2003. — № 3. — С. 21–22.
40. Бондаренко В.О. Розробка методики та практики застосування для безконтактного контролю робочого стану проводів повітряних ліній / В.О. Бондаренко, В.В. Черкашина, Б.М. Горкунов та ін. // Звіт про виконання НДР № 37479 від 11.06.2014 р. — Харків: НТУ «ХПІ», 2014. — 65 с.
41. Бондаренко В.О. Выбор конструкции воздушной ЛЭП 110...750 кВ на этапе предварительного проектирования / В.О. Бондаренко, Ю.І. Тугай, М.М. Черемисин, В.В. Черкашина // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. — Київ, 2013. — Вип. 34. — С.5–12.
42. Черкашина В.В. Врахування параметрів наволишнього середовища в задачах проектування повітряних ліній / В.В. Черкашина // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». — Харків: НТУ «ХПІ», 2016. — № 3. — С. 15–24.
43. Черкашина В.В. Фактор времени в стратегии усовершенствования электрических сетей / В.В. Черкашина. // Електротехніка і Електромеханіка. — Харків НТУ «ХПІ», 2014. — № 3 — С. 65–68.
44. Бондаренко В.О. Розвиток повітряних ліній електропередач в умовах «інтелектуалізації» електричних мереж / В.О. Бондаренко, О.М. Мороз, М.М. Черемисин, В.В. Черкашина // Матеріали доповідей V Всеукраїнського наукового семінару «Проблеми і перспективи енергозбереження в комунальному господарстві та на промислових підприємствах», Луцьк, 2015. — С. 112–116.
45. Бондаренко В.Е. Исследование процесса управления режимами работы электрических сетей в современных условиях / В.Е. Бондаренко, Н.М. Черемисин, В.В. Черкашина // Восточно-европейский журнал передовых технологий, 2015. — № 6/8(78). — С. 11–18.
46. Cherkashina V.V. Analysis of parameters series of wire cross-sections for overhead power line design / V.V. Cherkashina // EUREKA: Physicas Sciences and Engineering, Tallin, 2016. — № 2. — P. 3–12.
47. Бондаренко В.Е. Учет дискретности шкалы сечений проводов при оптимизации параметров технико-экономической модели воздушных линий электропередачи / В.Е. Бондаренко, И.В. Барбашов, В.В. Черкашина // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. — Харків: ХНТУСГ, 2016. — Вип. 175. — С. 10–13.

48. Блок В.М. Электрические сети и системы / В.М. Блок. — М.: Высш. шк., 1986. — 430 с.
49. Чумаков В.В. Принятие решения в условиях объективной и субъективной неопределенности / В.В. Чумаков, И.В. Чумаков. — М.: ВЦ АН СССР, 1991. — 35 с.
50. Воропай Н. И. Многокритериальный анализ решений при планировании развития электроэнергетических систем / Н.И. Воропай, Е.Ю. Иванов // Электричество. — 2000. — № 11. — С. 45 — 49.
51. Орловский С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С. А. Орловский. — М.: Наука, 1981. — 206 с.
52. Чумаков В.В. Принятие решения в условиях объективной и субъективной неопределенности / В.В. Чумаков, И.В. Чумаков — М.: ВЦ АН СССР, 1991. — 35 с.
53. Ляшенко И.Н. Линейное и нелинейное программирование. / И.Н. Ляшенко, Карагодова Е.В., Черникова Н.В., Шор Н.З. — К: «Вища школа», 1975 — 372 с.
54. Лыкин А.В. Mathcad в задачах электроэнергетики. Учебное пособие / А.В. Лыкин. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1998. — 86 с.
55. Гордиевский И.Г. Критериальный анализ параметрических интервалов / И.Г. Гордиевский // Труды Смоленского филиала МЭИ, 1970 (Вып. 1) — 72 с.
56. Шнелль Р.В. Оптимизация основных параметров электропередачи / Р.В. Шнелль, В.В. Картацев // Электричество. — 1982. — № 4. — С. 34–38.
57. Гордиевский И.Г. Оптимизация параметров электрических сетей / И.Г. Гордиевский, Лордкипанидзе — М.: «Энергия», 1978 — 144 с.
58. Будзко И.А. Особенности оптимизационных задач энергетики и методов их решения / И.А. Будзко, М.С. Левин // Электричество. — 1981. — № 3. — С. 1–7.
59. Мелентьев Л.А. Проблемы неопределенности оптимальных решений в больших системах энергетики / Л.А. Мелентьев // Энергетика и транспорт. — 1975. — № 11. — С. 3–12.
60. Марков А.А. О методах учета факторов неопределенности при оптимизации больших систем энергетики / Л.Л. Марков // Энергетика и транспорт. — 1975. — № 1. — С.13–19.
61. Попырин Л.С. Оптимизация энергетических объектов в условиях неполноты исходной информации / Л.С. Попырин // Энергетика и транспорт. — 1975. — № 4. — С. 20–30.
62. Мелентьев Л, А. Оптимизация развития и управления больших систем энергетики. — М.: Высшая школа, 1982. — 317 с.
63. Методика по определению потерь электроэнергии в трансформаторах и линиях электропередач. — Министерство энергетики Украины, 1998. — 60 с.
64. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Електрична енергія. <http://www.nerc.gov.ua/>
65. Черкашина В.В. Оценка экономической эффективности в проектировании воздушных линий электропередачи / В.В. Черкашина // Энергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК. — Харків: ХНТУСГ, 2015. — № 1(3). — С. 12–15.